

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

**VÍCEROZMĚRNÁ STATISTICKÁ ANALÝZA**

**MAČKAVOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ**

**MULTIDIMENSIONAL STATISTIC ANALYSIS OF**

**FABRICS CREASING**

**LIBEREC 2013**

**BC.VERONIKA PAULENOVÁ**

# **VÍCEROZMĚRNÁ STATISTICKÁ ANALÝZA MAČKAVOSTI PLOŠNÝCH TEXTILIÍ**

## **MULTIDIMENSIONAL STATISTIC ANALYSIS OF FABRICS CREASING**

### **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

STUDIJNÍ PROGRAM: TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ (N3106)

OBOR: TEXTILNÍ A ODĚVNÍ TECHNOLOGIE (TOT)

ZAMĚŘENÍ: DESIGN ODĚVNÍHO VÝROBKU (DOV)

**Autor práce**

**Bc. Veronika Paulenová**

**Vedoucí práce**

**Ing. Katarína Zelová**

POČET STRAN TEXTU.....54

POČET OBRÁZKŮ.....34

LIBEREC 2013

## **Zadání**

1. Proveďte literární rešerši zaměřenou na využití vícerozměrné statistické analýzy dat a regresní analýzy pro vyhodnocení a predikci vlastností textilních materiálů.
2. Charakterizujte mačkavost textilií, parametry ji ovlivňující. Popište princip měření mačkavosti textilií pomocí úhlu zotavení.
3. Pomocí vícerozměrné statistické analýzy (PCA) na zvoleném souboru materiálů, nalezněte statisticky významné znaky, které přispívají k rozdílům mezi materiály a především k rozdílné mačkavosti vybraných textilií.
4. Ověřte možnost využití regresního modelu pro předpověď mačkavosti textilií. Jako ukazatel mačkavosti berte v úvahu úhel zotavení změřený po pěti minutách relaxace vzorku textilie. Formulujte závěrečné zjištění.

## **Doporučená literatura**

- FRIDRICHOVÁ, L., ZELOVÁ, K. Objective evaluation of multidirectional fabric leasing. The Journal of The Textile Institute. 2011. 102(8). 719 - 725.
- JEDDA, H., GHITH, A. AND SAKLI, F. Prediction of fabric drape using the FAST systém. Journal of the Textile Institute, 2007, 98(3), 219 - 225.
- HUNTER, L., FAN, J. Clothing appearance and fit: science a technology. The Textile Institute. Cambridge England. 2000. ISBN -0-8493-2549-3
- BIGLIA, U., ROCZNIOK, A. F., FASSINA, C., LY, N.G. The prediction of garment appearance from measured fabric properties. International Journal of Clothing Science and Technology, 1990.2(3). 48 – 55.
- KUPKA, K. Vícerozměrná analýza, regrese a prediktivní metody. Výzkumné centrum pro jakost a spolehlivost - CQR. Pardubice. 2007. 105 s.
- MELOUN, M., MILITKÝ, J. Kompendium statistického zpracování dat. Academia Praha 2002, Academia Praha 2006, 970stran, EAN 9788020013965, ISBN 80-200-1396-2

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis



### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí této práce Ing. Kataríně Zelové za odborné rady a cenné připomínky během zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji studentkám, které se podílely na měření potřebných dat.

V neposlední řadě také děkuji mé rodině za podporu během celého studia, a to hlavně mamince paní Hance Paulenové a rovněž svému příteli.

### **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá vícerozměrnou statistickou analýzou dat, jejímž úkolem je predikce mačkovosti plošných textilií. Mačkovost textilií je zde měřena pomocí úhlu zotavení, jehož postup je popsán v experimentální části. V práci je také popsána charakteristika materiálů, které byly použity k měření. Naměřené hodnoty jsou pak dále zpracovány nejprve jednorozměrnou analýzou a dále vícerozměrnou analýzou spolu s dalšími charakteristikami těchto materiálů. Tato práce se pokouší nalézt nejvhodnější metody predikce mačkovosti plošných textilií.

### **Klíčová slova**

Vícerozměrná analýza dat, regresní analýza, predikce, mačkovost plošných textilií, úhel zotavení

### **Annotation**

This thesis deals with multidimensional statistic analysis of data to predict creasing of fabrics. Creasing of fabrics is measured using angle recovery as described in the experimental part. Thesis also describes characteristic of material used during measuring. Measured data are then processed using one dimensional analysis and later using multidimensional analysis together with additional material characteristic. This thesis is aiming to find the best methods to predict creasing of fabrics.

### **The key words**

Multidimensional analysis of data, regressive analysis, prediction, creasing of fabrics, angle recovery

## Obsah

Úvod .....	9
<b>1 Mačkavost textilií .....</b>	<b>10</b>
1.1 Parametry ovlivňující mačkavost plošných textilií.....	11
1.2 Metody měření mačkavosti.....	12
1.2.1 Metoda skládaného proužku textilie .....	14
1.2.2 Metoda AKU.....	15
1.2.3 Hodnocení mačkavosti po praní .....	16
1.2.4 Stříšková metoda.....	16
1.2.5 Metoda měření úhlu zotavení .....	17
1.2.6 Objektivní metoda hodnocení mačkavosti textilie pomocí úhlu zotavení ve více směrech .....	19
<b>2 Vícerozměrná statistická analýza, predikční metody .....</b>	<b>22</b>
2.1 Lineární regrese .....	23
2.1.1 Kritéria pro hodnocení podmínek regresního modelu .....	24
2.2 Analýza hlavních komponent (PCA).....	25
2.3 Faktorová analýza (FA) .....	25
2.4 Shluková analýza (CLU) .....	26
<b>3 Experimentální část .....</b>	<b>27</b>
3.1 Charakteristika použitého materiálu .....	27
3.2 Charakteristika použitého zařízení.....	28
3.2.1 Systém KES .....	28
3.2.2 Inovativní metoda úhlu zotavení.....	30

3.3	Jednorozměrná statistická analýza dat úhlu zotavení .....	32
3.4	Anizotropie mačkovosti textilií.....	46
3.5	Vícerozměrná statistická analýza úhlu zotavení .....	50
3.6	Korelační matice .....	52
3.7	Analýza hlavních komponent .....	53
3.8	Shluková analýza .....	55
3.9	Lineární regresní model pro predikci úhlu zotavení textilie.....	57
Závěr.....		62
Literatura.....		64
Seznam obrázků.....		66
Seznam tabulek.....		67
Seznam příloh .....		68

## Úvod

Mačkavost je jednou z důležitých vlastností, která ovlivňuje vzhled více méně každé textilie. A právě hodnocení mačkavosti a vytvoření lineárního regresního modelu pro predikci mačkavosti textilií je předmětem této práce. Pro hodnocení mačkavosti plošných textilií lze použít spoustu metod od metody hodnocení mačkavosti nošením nebo hodnocení po praní, přes metodu dutého válce, metodu skládaného proužku až po nejčastější způsob hodnocení, a tím je metoda úhlu zotavení. V této práci byla mačkavost hodnocena podle metody měření úhlu zotavení snímáním pomocí webové kamery, která je popsána v rešeršní části této práce.

Pro vytvoření predikčního modelu jsou vybrány a hodnoceny textilie bavlnářského typu různého materiálového složení o různých plošných hmotnostech. Tyto textilie se liší také dostavou a tloušťkou.

Na základě získaných hodnot úhlu zotavení je v experimentální části provedena vícerozměrná statistická analýza, jejímž výstupem je lineární regresní model vhodný pro predikci hodnot úhlu zotavení bavlněných textilií. Experimentální část práce se také věnuje jednorozměrné analýze dat úhlu zotavení a anizotropii mačkavosti textilií.

## 1 Mačkavost textilií

Mačkavost plošných textilií je stav, kdy vzniká deformace způsobená tlakem při používání hotového oděvního výrobku. Schopnost textilie vrátit se do původního stavu je ovlivněna tím, o jak velkou deformaci se jedná, pružností, konstrukcí a materiálovým složením. Zmačkání textilie lze odstranit nejčastěji žehlením, ale i vyvěšením. [7]

Mačkavost je vlastnost popisující stálost tvaru plošných textilií. Trvalá deformace vznikne až po přehnutí – překonání tuhosti, a zatížení. Po čase se může textilie částečně zotavit. [2]

Při zjišťování mačkavosti je působeno na textilií velkými silami. Tyto síly způsobují na textilií plastické (nevratné) deformace projevující se na textilií zmačkáním a záhyby. Každou deformaci tvoří elastické a plastické deformace a případné zotavení těchto deformací podle vztahu viz rovnice 1. [3]

$$\varepsilon_c = \varepsilon_E + \varepsilon_p + \varepsilon_z \quad (1) [3]$$

Kde:  $\varepsilon_c$  – celková deformace

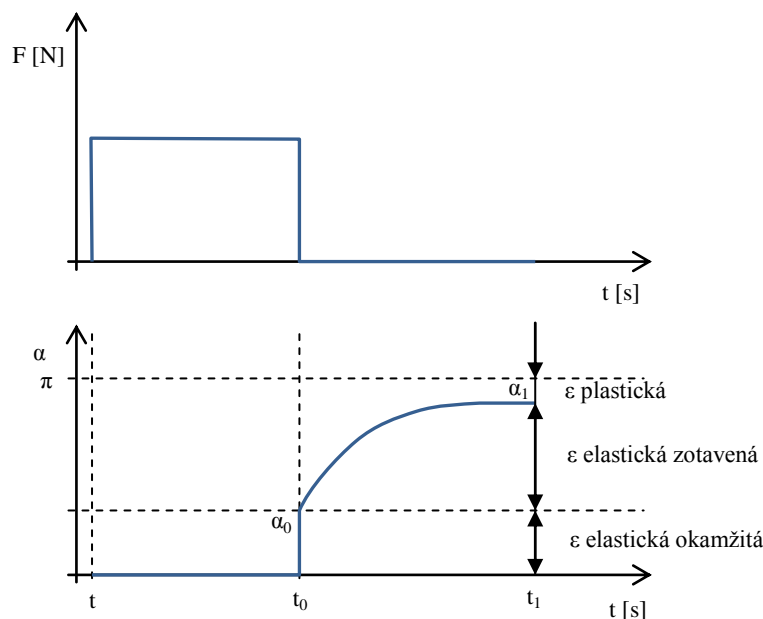
$\varepsilon_E$  – elastická deformace

$\varepsilon_p$  – plastická deformace

$\varepsilon_z$  – zotavená deformace

Tento vztah platí také při mačkání textilií. Proto můžeme o textilií, která je pružná, mluvit jako o nemačkové, neboť nevykazuje při používání žádné nežádoucí ohyby a lomy. [3]

Při hodnocení mačkavosti se proužek textilie zatíží silou  $\mathbf{F}$ , která je vytvořena závažím o hmotnosti  $\mathbf{m}$  v čase  $\mathbf{t}$ . Po odlehčení v době  $\mathbf{t_0}$  začneme pozorovat narovnávání proužku. V čase  $\mathbf{t_0}$  se proužek narovná na hodnotu  $\alpha_0$ , která odpovídá **okamžité elastické deformaci**. Po určitém delším čase  $\mathbf{t_1}$ , kdy se už vzorek dále nenarovnává, můžeme odečíst úhel  $\alpha_1$ , který odpovídá **konečné (celkové) deformaci** složené z **plastické deformace** a ze **zotavené elastické deformace**. Na obrázku 1 jsou znázorněné křivky průběhu deformace proužku textilie. Mezní úhel zotavení je  $180^\circ (\pi)$  [2, 3]



Obrázek 1 Průběh deformace po odlehčení vzorku dle [2, 3]

### 1.1 Parametry ovlivňující mačkovost plošných textilií

Velký vliv na mačkovost a zotavení textilie mají tři základní faktory a to **vlákno**, **příze** a **textilie**. Mačkovost textilie je také ovlivněna materiálovým složením, strukturou textilie, směrem přehybu textilie, kterým nemusí být jen směr osnovy a útku, a také na teplotě a vlhkosti okolí, a během nošení také aktivita nositele. [4]

Podle MERATI a PATIR [5], kteří zkoumali nemačkovost tkanin plátnové vazby s útkovými příze s směrem zákrutu S a Z v různých úrovních, se nemačkovost zvyšuje se zvyšujícím se zákrutem v útkových přízích. Také zjistily, že na mačkovost má také vliv na způsob složení (přehybání) tkanin. Výsledky jejich měření také ukázaly anizotropii textilií vyrobených z vláken s různými směry zákrutu. PEREPELKIN a NEKLYUDOVA [6] zkoumali anizotropii mačkovosti polyesterových, polyester-lněných a lněných tkanin v standardních podmínkách a v maximálním vlhkém prostředí a zjistili, že mačkovost se významně zvyšuje se zvýšením obsahu vlhkosti lněné textilie, a to díky přítomnosti hydrofobických lněných vláken, (Hydrofobická vlákna jsou vlákna, která mají schopnost přijímat vlhkost – přírodní vlákna. [8]) kdežto u polyesterových vláken je zvýšení vlhkosti bezvýznamné. Zjistili tedy, že mačkovost textilie je nepochybně závislá na materiálovém složení vlákna. MIHAILOVIC [18] zase vyšetřoval elasticitu konopných textilií pod působením ohybové síly a to před a po praní. Výsledky jeho měření ukazují, že nejlepší elasticitu má praná textilie v osnově,

poté nepraná textilie v osnově, dále praná textilie v útku a nejhorší elasticitu vykazovala nepraná textilie v útku, z čehož vyplývá, že vypraná textilie má o 50% lepší elasticitu. MATSUDAIRA, NAKANO, YAMAZAKI, HAYASHI a HAYASHI [19] ve svém článku uvádějí 6 hlavních parametrů ovlivňujících kvalitu tkaniny a to: hustota vazby, počet přízí, zákrut přízí, struktura tkaniny, podmínky barvení a dokončovací podmínky. LYNE, LAKO a VEER [20] ve své práci ukazují na to, že na pomačkání a zotavení textilie mají značný vliv atmosférické podmínky. MOUSAZADEGAN, SAHARKHIZ a MAROUFI [21] zase ve své práci zkoumali, jak se mění - kromě jiných vlastností – mačkavost snížením hmotnosti textilie. Vyšetřovali materiály, které byly ze 100% polyesterového mikrovláknů v plátňové vazbě o průměrné hmotnosti 150 g/m<sup>2</sup>. Autoři zjistili, že snížení hmotnosti způsobuje lepší úhel zotavení mačkavosti tohoto materiálu.

## 1.2 Metody měření mačkavosti

Jsou známy různé metody pro hodnocení mačkavosti plošných textilií. Nejčastější metodou je metoda úhlu zotavení, kde se jedná o zjišťování velikosti úhlu, který vznikne mezi rameny přeloženého proužku plošné textilie po odstranění zatížení, kterým byla textilie po určitou dobu zatížena. [9] Další úhlovou metodou je i stříšková metoda, která se dnes už nepoužívá. Mezi další metody měření mačkavosti textilií patří také metoda nošením, metoda dutého válce, metoda skládaného proužku a také metoda hodnocení po praní.

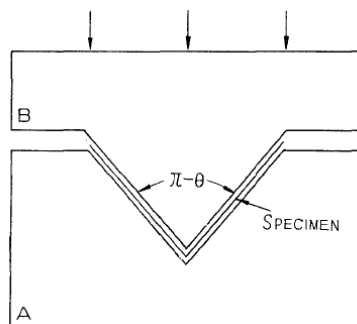
MIHAILOVIC [18] ve svém experimentu použil metodu úhlu zotavení, a to podle německé normy: DIN ISO 53980. Vzorky jsou u této metody odebírány o velikosti 5x2cm. V užší straně vzorku byly vzorky složeny pod úhlem 180° a zatíženy silou 1,98N. Délka složené části je 1,5 cm od okraje. Vzorek je zatěžován 60 minut a poté se zařízení odstraní. Úhel  $\alpha$  byl měřen po 5-ti minutách  $\alpha_5$  a po 60-ti minutách  $\alpha_{60}$ . Úhel  $\alpha_0$  (úhel skoku) je vypočítán dle rovnice 2.

$$\log \alpha_0 = \log \alpha_{60} - 3,5 \cdot \log \frac{\alpha_{60}}{\alpha_5} \quad (2) [18]$$

SHINOHARA [22], ve své práci použil dvě metody měření úhlu zotavení. Autor zkoumal stupeň vzájemného působení mezi osnovní a útkovou přízí v bodech jejich křížení. Jako první metodu použil metodu úhlu zotavení, a to na testovacím zařízení KS-Crease Recovery Tester od výrobce Koa Co., Ltd., Japan. Testovací vzorky o velikosti 1x4cm byly zatíženy 0,5 kg závažím po dobu 5 minut. Úhel zotavení odečítal ihned po



odlehčení. Ve druhém experimentu zkoumal vzorky o rozměrech 2 x 4 cm, které vsunul mezi čelisti ve tvaru „V“ v pěti různých úhlech (30°, 60°, 90°, 135°, 150°) viz. obrázek 2. Úhel zotavení pak měřil úhломěrem, jehož výsledek ukazoval vztah mezi mačkacím úhlem a úhlem zbytkovým (zotavení).



Obrázek 2 Tvarovací čelisti tvaru "v" dle [22]

LYNE, LAKO a VEER [20], jejichž práce se zabývá výsledky získaných pomocí vizuální kontroly z pomačkaných vzorků, ve svém vyšetřování použili zařízení, které dává náhodné, reprodukovatelné mačkání, zatímco textilie má určitou volnost s tendencí se zavěšovat. Kruhová kovová tyč se montuje vertikálně na základnu. Na spodní části je plastová příruba a nad ní je další příruba. Ty jsou vázány na kovové trubky kolem kovové tyče. Ty lze posunout nahoru a dolů. Tento pohyb je řízen čepem na liště a spirálovou šterbinou v trubce. Při pohybu po kovové tyči je horní příruba nucena, aby se obrátila o 180° při plném zdvihu. V nejvyšší poloze se horní příruba upevní. Vzorek se upevní kolem obou přírub a zafixuje svorkami tenkého ocelového pásku. Horní příruba se pak uvolní a pohybem dolů se vzorek otáčí a mačká. Na horní přírubě může být umístěno jedno nebo dvě další závaží pro zvýšení tlaku v průběhu mačkání. Doba zatížení byla 20 minut a použili závaží o hmotnosti 4 kg. Textilii kontrolovali ihned po zmačkání a 24 hodin po zmačkání.

FRIDRICHOVÁ, ZELOVÁ a KNÍŽEK [23] využili novou metodu měření, která umožňuje zkoumat vlastnosti materiálů (ohybovou tuhost a mačkovost) v různých směrech. Metoda je založena na měření kruhových vzorků a umožňuje šetřit čas a materiál, protože se všechny mechanické vlastnosti mohou měřit pouze na jednom vzorku. Jako měřicí přístroj použili zařízení TH-7, inovovaný na TH-5. Ohybová síla na zařízení je od 40 mN do 4000 mN. Upínací čelisti lze ohýbat v obou směrech. Výsledkem tohoto měření je pak hysterezní smyčka. Jejich práce byla zaměřena na metodě měření úhlu zotavení, který je zde snímán webovou kamerou. Zotavený úhel je

pak možné zaznamenat v první vteřině po odlehčení. V době relaxace bylo pořízeno 24 digitálních snímků s úhlem zotavení. Kamera zaznamenávala úhel zotavení v těchto intervalech: prvních 10 sekund každou sekundu, dalších 50 sekund každých 5 sekund a další 4 minuty každou minutu. Úhel zotavení měřili ve 12-ti různých směrech (kde každý následující směr byl od předchozího posunut o 30°, první byl měřen ve směru osnovy) a byl měřen pomocí software NIS-Elements.

MERATI a PATIR [5] ve své práci testovali odolnost mačkavosti textilií a to v různých úhlech zkušební vzorku (0° - směr útku, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° a 90° - směr osnovy). Autoři článku měřili 30 vzorků 50 x 25 mm z každé látky v každém směru. Polovinu vzorků složili lícem na líc a druhou polovinu rubem na rub. Každý vzorek zatížili závažím o 2 kg po dobu 1 minuty. Poté vzorky umístili v držáku s ciferníkem a úhel zotavení byl měřen otočením ciferníku přístroje a to po 1 minutě zotavení.

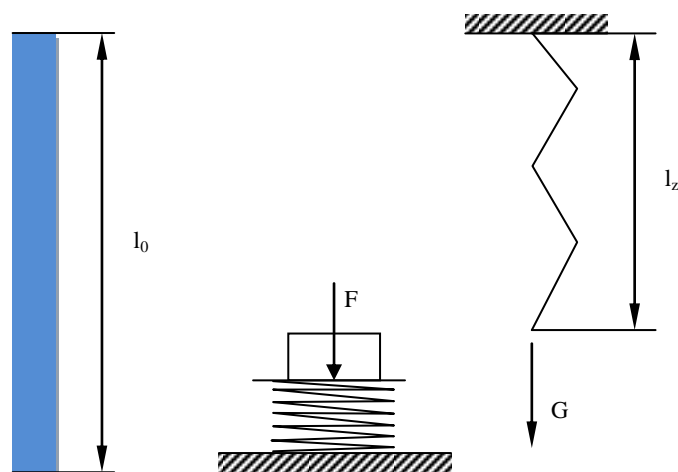
### 1.2.1 Metoda skládaného proužku textilie

Metoda je založena na principu přehýbajícího se proužku (220 x 55 mm), který je po složení zatížen závažím v předepsaném čase (viz. obrázek 3). Po odlehčení je vzorek zavěšen do svorek a v určitém čase se odečítá jeho délka. K vyrovnaní proužku napomáhá také vlastní tíha vzorku **G**. Vyhodnocení zotavení se provádí dle vzorce viz. rovnice 3. [2]

$$Z = \frac{l_0 - l_z}{l_0} \times 10^2 \quad (3) [2]$$

Kde:  $l_0$  – původní délka vzorku

$l_z$  – zotavená délka vzorku



Obrázek 3 Metoda skládaného proužku dle [2, 3]

### 1.2.2 Metoda AKU

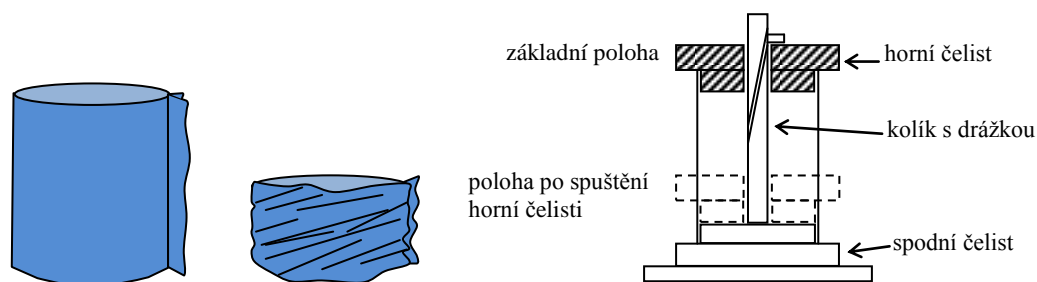
Tato metoda byla zavedena pro pleteniny, kvůli stáčení krajů pletenin. Dnes už se používá také pro ostatní textilie, zejména tkaniny. Vzorek textilie je ve tvaru válce, který je buď sešitý ze zkoumané textilie, nebo vyrobený ve tvaru hadice. (viz. obrázek 4) Vzorek je upnut do dvou kruhových čelistí tak, aby byl lehce napnut. Nejprve je čelist v základní poloze. Středem prochází vodící kolík s drážkou, který je upevněn v dolní čelisti. Po uvolnění je horní čelist spuštěna až ke spodní čelisti, čímž se zmačká válcová textilie, a to jednak stáčením a jednak zešíkmením, které je způsobeno pootočením horní čelisti. Po určité době zatížení se odpojí horní čelist a po čase zotavení  $t$  se změří jeho výška  $h_z$ . Obě výšky  $h_0$  a  $h_z$  slouží k vyjádření zmačkaní (viz. rovnice 4) Na obrázku 5 je zobrazen dutý válec. [2, 3]

$$Z = \frac{h_z}{h_0} \quad (4) [2]$$

Kde:  $h_0$  – původní výška vzorku

$h_z$  – zmačkaná výška vzorku

Pro stanovení mačkovosti se také používá etalonů, se kterými se vzorek porovná. [3]



Obrázek 4 Metoda dutého válce dle [2]



Obrázek 5 Dutý válec dle [24]

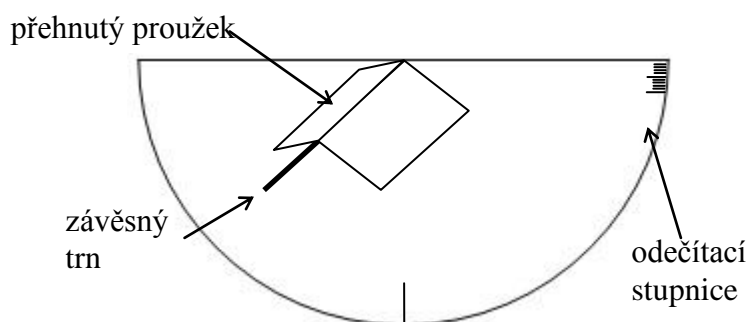
### 1.2.3 Hodnocení mačkavosti po praní

Tato metoda se používá u prádlařských textilií. Vzorky plošné textilie mají rozměr 400 x 400 mm. Tyto vzorky se zajistí v okrajích, aby se zabránilo třepení, a po té se vloží do bubnové pračky, která má předem předvolený teplotní režim. Vzorky se po praní nechají vysušit ve svislé poloze v klimatizovaném prostoru. Neždímají se. Zmačkání vzorku se při šikmém osvětlení porovná s plastickými etalony. Stupnice etalonu je od 1 – 5. 1. stupeň ukazuje největší zmačkání a 5. stupeň nejmenší zmačkání. Tato metoda hodnocení je objektivně-subjektivní a to proto, že etalon je specifikován objektivně a posuzovací osoba je subjekt. [2]

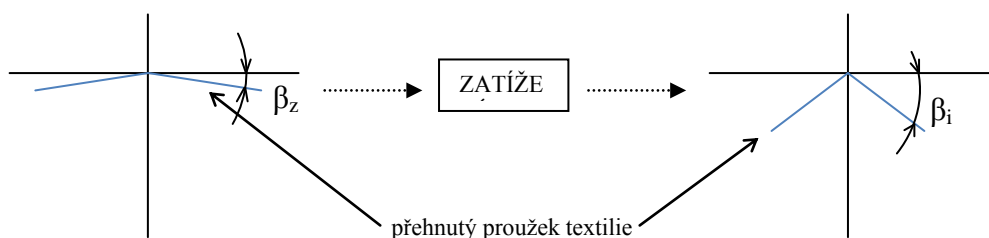
### 1.2.4 Stříšková metoda

Stříšková metoda je jedna z úhlových metod (dnes se již nepoužívá) zohledňující tuhost plošné textilie a používá se pro úplné vyloučení gravitačního vlivu. V polovině proužku se provádí zatížení a to separátně. Poté se přehnuté proužky přenesou na odečítací zařízení (viz. obrázek 6), na kterém se odečte úhel. Změřením úhlu  $\beta_z$  začíná časový režim.  $\beta_z$  je úhel před přehnutím (tuhost). Dále se proužek zatíží v přehybu a následně

se odečte úhel zotavení  $\beta_i$  v čase  $t$ . (viz. obrázek 7). Vyhodnocení mačkavosti se provádí dle vzorce viz. rovnice 5.



Obrázek 6 Zařízení pro měření úhlu zotavení dle [2]



Obrázek 7 Střížková metoda dle [2]

$$M = \frac{\beta_i - \beta_z}{\pi/2 - \beta_z} \times 100 \quad (5) [2]$$

Kde:  $\beta_i$  – úhel  $\beta$  v čase  $t$

$\beta_z$  – úhel základní

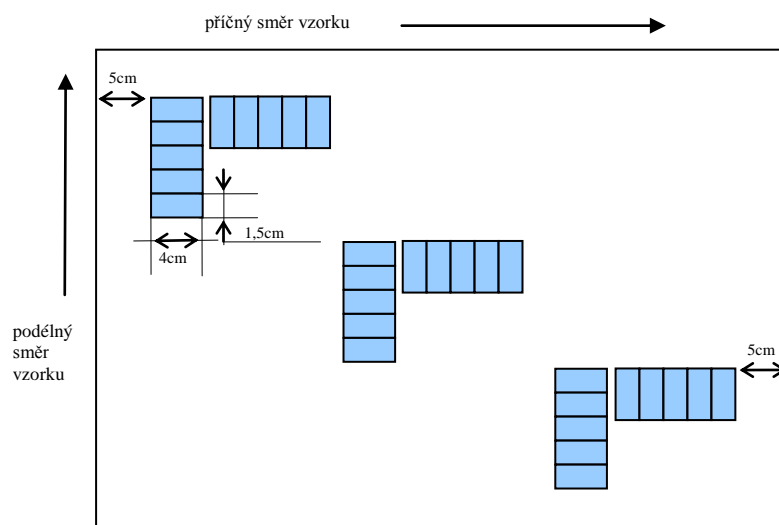
Interval mačkavosti se pohybuje od 0 – 100%. [2]

### 1.2.5 Metoda měření úhlu zotavení

Dle normy ČSN EN 22313 (80 0820) podstatou zkoušky je, že se proužek textilie, který je pravoúhlý o rozměrech 40 x 15 mm pevně zatíží pomocí vhodného zařízení na dobu 5 min  $\pm$  5s stanoveným zatížením (lis působící na plochu 15 x 15 mm složeného vzorku silou 10 N). Úhel zotavení se měří po odstranění stanoveného zatížení a po volně stanovené době (5 min), kdy se vzorek zotavuje.

Přístroj pro měření úhlu zotavení se skládá z kruhové stupnice s dělením na stupně s přesností na  $\pm 0,5^\circ$  a držáku vzorků, viz. obrázek 9.

Pro každou zkoušku se připraví 10 zkušebních vzorků kratší stranou rovnoběžnou po osnově a 10 zkušebních vzorků kratší stranou po útku (viz. obrázek 8). [9]

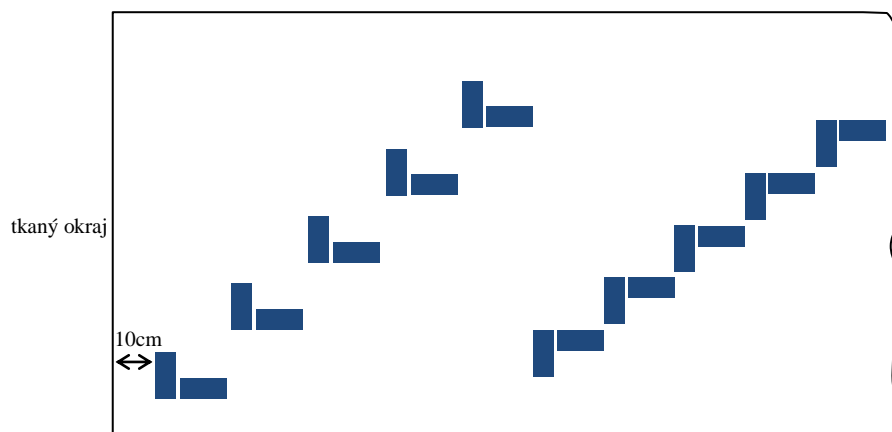


Obrázek 8 Způsob odběru vzorku dle normy ČSN EN 22313 (80 0820)



Obrázek 9 Crease recovery tester dle [25]

Dle normy ČSN 80 0819 (EN 31092) se zkušební proužek tkaniny o rozměrech 50 x 20 mm přeloží a zatíží závažím o hmotnosti 1 kg. Po 1 hodině se odstraní závaží a po 5 a 60 minutách se změří úhel zotavení tvořený přehnutou částí zkušebního vzorku. Čím je větší úhel zotavení, tím je mačkovost tkaniny menší. Pro zkoušku mačkovosti se připraví 10 proužků po osnově a 10 proužků po útku a z toho 5 vzorků se zkouší po líci a 5 na rubu. Odebírání vzorků viz. obrázek 10. Měření se provádí na přístroji UMAK. [10]



Obrázek 10 Odběr vzorků dle normy ČSN 80 0819 (EN 31092)

### 1.2.6 Objektivní metoda hodnocení mačkovosti textilie pomocí úhlu zotavení ve více směrech

Jak uvádí ve své publikaci FRIDRICHOVÁ a ZELOVÁ [1] je pro mnoho spotřebitelů důležité mít oblečení bez pomačkání při nošení. Hlavní faktory, které ovlivňují mačkání při nošení, jsou typy vláken, struktura tkaniny, směr skladu, teplota a vlhkost závislá na tělesné aktivitě během nošení. Jak uvádí, je možné simulovat reálné pomačkání tkaniny pomocí metody dutého válce, kde se pro vyhodnocení zmačkání používá soubor etalonů. Tento způsob vyhodnocení je subjektivní, je tedy nespolehlivý a časově náročný. Proto bylo vyvinuto několik metod pro hodnocení mačkovosti, které jsou objektivní. Upozorňují na to, že tradiční hodnocení mačkovosti textilií není dostatečné, protože vzorek tkaniny je ohýbán pouze ve dvou směrech (osnova a útek) a nesimuluje tak reálné pomačkání opotřebovaného materiálu.

Novou objektivní metodou hodnocení mačkovosti snímáním úhlu zotavení textilie, kdy je mačkovost textilie hodnocena ve více směrech popisují ve svém článku FRIDRICHOVÁ a ZELOVÁ [1]. Autorky zde navrhly a popsaly inovativní metodu pro měření úhlu zotavení, která je založena na standardizované metodě ČSN 80 0819 (EN 31092). Vzorek textilie je půlkruhového tvaru o průměru  $d = 4,5$  cm a je upnut v napínacím systému a zatížen závažím o hmotnosti 1 kg. Vzorek je zatížen po dobu 5-ti minut a poté se závaží odstraní. Jelikož je manuální měření úhlu zotavení nepřesné, zaměnily autorky tuto část hodnocení. Úhel zotavení je tedy snímán webovou kamerou.

Jak již bylo popsáno výše, tato metoda spočívá v tom, že se vzorky měří v mnoha směrech (ne jen ve směru útku a osnovy), což znamená, že se blíží ke skutečnému chování tkaniny při nošení. Používá se 12 poloh pro stříhání vzorků, kde hrana vzorku

je otáčena o 30° vzhledem k osnově v intervalu od 0° - 330°. Autorky také zjistily, že optimální tvar vzorku pro testování anizotropie mačkání je půlkruhový vzorek. Obdélníkové vzorky nejsou vhodné z důvodů větší spotřeby textilní plochy a také proto, že má tendenci stáčení krajů během nošení. U půlkruhového vzorku je popsán efekt mnohem menší. [1]

Dalším inovativním krokem bylo získání hodnot měřených úhlů. Manuální metodu nahradily snímáním webové kamery a poté obraz zpracovaly v programu NIS – Elements. Pro zpracování snímků z webové kamery použily software, podle kterého je možné měřit změny obnovy úhlu zotavení po 1 sekundě, což je důležité pro zkoumání viskoelastických vlastností textilie. Výpočet koeficientu mačkavosti v čase 5 min lze definovat jako: Viz. rovnice 6. [1]

$$C_{300} = \frac{\alpha_{300}}{180^\circ} \quad (6) [1]$$

$\alpha_{300}$  je průměr úhlu zotavení v čase 5min ve více směrech. Jedná se o průměr 6-ti hodnot všech 12-ti směrů. Pro výpočet koeficientu mačkavosti je tedy potřeba průměr ze 72-ti hodnot. Koeficient mačkavosti se pohybuje v rozmezí 0 – 1. Pro nemačkávané textilie se koeficient mačkavosti blíží k hodnotě 1, zatímco textilie snadno zmačkatelné se nacházejí v blízkosti hodnoty 0. [1]

Vhodnějším řešením pro výpočet koeficientu mačkavosti je použití váženého průměru, kdy váha je vyjádřena W. Viz. rovnice 7. [1]

$$W = \frac{(180 - \alpha_{i300})}{180} \quad (7) [1]$$

Kde:  $\alpha_{i300}$  – úhel zotavení při  $i = 1-12$

Koeficient mačkavosti se v tomto případě vypočítá dle vzorce viz. rovnice 8. [1]

$$C_{W300} = \frac{\sum_{i=1}^{12} W_i \alpha_{i300} / \sum_{i=1}^{12} W_i}{180^\circ} \quad (8) [1]$$

Měření úhlu zotavení web kamerou autorky článku [1] prováděly v intervalech: Prvních 10 sekund každou sekundu, dále každých 5 sekund od 11. do 60. vteřiny, poté každou minutu od 61. sekundy do 5. minuty. Po dobu relaxace, což je 5 minut, je získáno 24 snímků úhlu zotavení, které jsou měřeny pomocí programu NIS Elements. Prvních několik sekund relaxace vzorku je důležitých! [1]



Tato metoda uhlů zotavení ve více směrech byla použita v experimentální části této práce.

## 2 Vícerozměrná statistická analýza, predikční metody

Vícerozměrná data, je soubor dat, které vzniknou na základě měření jednoho objektu, kdy se zjišťují hodnoty více než jednoho parametru. Například pro objektivní hodnocení textilie nás zajímá řada parametrů, jako třeba cena, komfort, vzhled a další. Naměřená vícerozměrná data pak tvoří tabulku s **m** sloupci a **n** řádky, které můžeme zapsat pomocí matice. Je samozřejmě možné každou vlastnost analyzovat zvlášť metodami jednorozměrné statistické analýzy, ale tím by se zahodila většina důležitých informací. Je proto nutné taková data analyzovat jako celek, aby bylo možno posuzovat struktury, vzájemné závislosti a vazby. Pro statistickou analýzu dat je potřeba naměřená data považovat za náhodný výběr z nějakého rozdělení, stejně tak, jako u jednorozměrného rozdělení. Jediné vícerozměrné rozdělení, které lze zobrazit jednoduše dvourozměrně, je právě rozdělení dvourozměrné. Hustota dvourozměrného rozdělení se vyjádří dle rovnice 9. Hustotu dvourozměrného normálního rozdělení lze také znázornit pomocí trojrozměrného grafu. [12]

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp \left[ -\frac{x_1^2 - 2\rho x_1 x_2 + x_2^2}{2(1-\rho^2)} \right] \quad (9) [12]$$

Kde:  $x_1, x_2$  jsou složky rozdělení

$\rho$  je korelační koeficient

Korelační koeficient se vyjadřuje jako míra závislosti mezi náhodnými proměnnými. Viz. rovnice 10.

$$\rho_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}^2}{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2} \quad (10) [12]$$

Kde:  $\sigma_{x,y}^2$  – kovariance

$\sigma_x^2, \sigma_y^2$  – rozptyly

Kovarianci a rozptyly lze odhadnout pomocí následujících vťahů. Viz. rovnice 11, 12.

$$\sigma_{x,y}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (11) [12]$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x}) \quad (12) [12]$$

Pomocí těchto odhadů se pak získá odhad  $r_{x,y}$  korelačního koeficientu  $\rho_{x,y}$ . Většinou jsou veličiny, kde  $r$  je menší než např. hodnota 0,7 nezávislé a větší než tato hodnota jsou naopak závislé. I když je tato podmínka závislosti splněna, nemusí to znamenat, že veličiny jsou navzájem závislé či naopak. Hodnotu korelačního koeficientu ovlivňuje také množství počítaných dat. Korelační koeficient se tedy mění s počtem použitých dat a poté se ustaluje na určité hodnotě. Data s ideální závislostí, která mají korelační koeficient  $r=1$  jsou lineárně závislá data. Tento jev je většinou způsoben nějakou chybou, např. když je jeden sloupec v tabulce dvakrát, anebo když je jeden sloupec násobkem druhého sloupce. Testování statistické významnosti odhadnutého korelačního koeficientu se provádí pomocí t-testu. [11, 12]

## 2.1 Lineární regrese

Model nezávislé náhodné veličiny pro normálové rozdělení  $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$  lze vyjádřit i-tou naměřenou hodnotou dle rovnice 13.

$$y_i = \mu + \varepsilon_i \quad (13) [12]$$

Kde:  $\mu$  - střední hodnota

$\varepsilon_i$  – náhodná veličina s rozdělením  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

Naměřená hodnota se tedy skládá z části stanovené  $\mu$ , což je konstantní hodnota, kterou lze chápat jako teoretický parametr stejný pro všechna měření, a z části náhodné  $\varepsilon_i$  určené pouze rozptylem  $\sigma^2$ , který určuje distribuční funkci rozdělení chyb. Je tedy důležité snažit se určit střední hodnotu  $\mu$ , a to s maximálním využitím znalostí o předpokladu tvaru a povaze chyb. Metodou maximální věrohodnosti lze odhadnout střední hodnotu. U normálního rozdělení  $\varepsilon$  se jedná o metodu nejmenších čtverců. Řešením této metody je aritmetický průměr. [12]

Metodu nejmenších čtverců za předpokladu normality, nezávislosti a konstantního rozptylu, lze použít i pro jednu a více proměnných. V tomto případě se jedná o jednu nebo více nezávislých proměnných a o jednu závisle proměnnou. Hodnoty nezávislé proměnné nebo také prediktory, jsou hodnoty již stanovené a nastavují se podle potřeby nebo plánu, nebo se odečítají se zanedbatelnou chybou. Závisle (měřená) proměnná  $y$  je náhodná a je zatížena chybou. Její hodnotu předem neznáme, proto je nutné ji změřit pro tvorbu regresního modelu. Lineární regresní model lze zapsat ve tvaru viz. rovnice 14. [11, 12]

$$y = \alpha^T x + \varepsilon = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_m x_m + \varepsilon \quad (14) [12]$$

Kde:  $\alpha, \varepsilon$  – neznámý parametr

$x$  – nezávisle proměnná

$y$  – závisle proměnná

Naměřené hodnoty nezávisle proměnných  $x$  a závisle proměnné  $y$  jsou v lineárním regresním modelu v kombinaci s neznámými parametry (regresní koeficienty)  $\alpha$  a  $\varepsilon$ . Při tvorbě lineárního regresního modelu je nutné vypočítat hodnoty těchto regresních koeficientů  $\alpha_1$  a  $\varepsilon$ , viz. rovnice 15 a 16. Výpočty odhadů těchto koeficientů jsou pro dvourozměrná data. [11, 12]

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (15) [11]$$

$$\varepsilon = \bar{y} - \alpha_1 \bar{x} \quad (16) [11]$$

Kde:  $\alpha_1$  a  $\varepsilon$  – koeficienty

$x_i$  – změřená hodnota nezávislé proměnné

$y_i$  – změřená hodnota závisle proměnné

Dalším, neméně důležitým pojmem v lineární regresi, je reziduum  $e_i$ , které určuje vzdálenost od naměřené hodnoty  $y_i$  k bodu  $\hat{y}_i$  na odhadnuté přímce, a které označuje chybu modelu. Součet čtverců reziduí můžeme vyjádřit  $e_i^2$ . Odhad reziduálního rozptylu se vypočítá jako podíl součtu čtverců reziduí a rozdíl mezi počtem proměnných a počtem naměřených vzorků, viz. rovnice 17. [11]

$$s^2 = 1/(n - m) e^T e \quad (17) [12]$$

Kde:  $n$  – počet proměnných

$m$  – počet měřených vzorků

$e^T e$  – součet čtverců reziduí

### 2.1.1 Kritéria pro hodnocení podmínek regresního modelu

Při hodnocení regresního modelu se zkoumá kvalita nalezených odhadů parametrů, a to podle intervalů spolehlivosti (Čím menší interval spolehlivosti, tím lépe.) a podle rozptylů parametrů. Dále se zkoumá kvalita dosažené těsnosti proložení podle zbytkového (reziduálního) rozptylu a regresního rabatu (Koeficient vyjádřený

v procentech – čím více se blíží 100%, tím je lepší proložení modelem.). Vhodnost navrženého modelu je další hodnocenou vlastností a to podle Akaiova informačního koeficientu – AIC (Čím menší je AIC, tím je model vhodnější) a podle střední kvadratické chyby predikce – MEP (Čím je MEP menší, tím lepší je predikční schopnost modelu.). Další vlastností důležitou pro hodnocení regresního modelu je predikční schopnost modelu a to opět podle MEP a v neposlední řadě také kvalita experimentálních dat a to na základě analýzy reziduí a analýzy vlivných bodů. [13]

Pro ověření metody nejmenších čtverců je nutné vyšetřit homoskedasticitu, což znamená, že každá hodnota závisle proměnné  $y$  má pro všechny hodnoty nezávisle proměnné  $x$  konstantní rozptyl. Dále je potřeba vyšetřit autokorelaci pomocí testu významnosti autokorelačního koeficientu, multikolinearitu (vzájemná závislost mezi nezávislými proměnnými), normalitu náhodných chyb, omezení parametrů a trend reziduí. [13, 14]

## **2.2 Analýza hlavních komponent (PCA)**

Cílem této metody je vybrat z původních proměnných  $x_i$  důležitá data a získat tak menší počet důležitějších proměnných  $y_i$ . Tuto metodu můžeme popsat lineární transformací původních znaků na nové proměnné, které nejsou korelované a nazvat je jako hlavní komponenty, kdy každá hlavní komponenta tvoří lineární kombinaci původních znaků. Každá hlavní komponenta má také svůj rozptyl, podle kterého se seřazují dle důležitosti, a to podle jeho klesání, od největšího k nejmenšímu. V první komponentě je soustředěna většina informací o variabilitě a v poslední komponentě je obsaženo nejméně informací. Hlavní komponenty lze také použít k testu vícerozměrné normality. PCA metoda je také součástí průzkumové analýzy dat. Pokud je analýza hlavních komponent využita v regresi, může odstranit problémy s multikolinearitou a přebytečným počtem vysvětlujících proměnných. [15, 16]

## **2.3 Faktorová analýza (FA)**

Faktorová analýza patří podobně jako analýza hlavních komponent mezi metody využívající redukci počtu dat a slouží k vyšetření vnitřních souvislostí a vztahů (korelací). Na rozdíl od PCA můžeme za pomoci FA vysvětlit závislost znaků. Každý vstupující znak lze vyjádřit jako lineární kombinaci nevelkého počtu společných skrytých faktorů a jediného specifického (chybového) faktoru. Nejdříve se identifikují

faktory, a poté se ke každému faktoru přidělí obsahový (fyzikální) význam, za pomoci kterého se každý původní znak vysvětluje vybraným faktorem. FA metoda má dva hlavní cíle, a to sumarizovat a redukovat data. V sumarizaci dat FA využívá toho, aby vysvětlila data a usnadnila jejich pochopení a to mnohem menším počtem skrytých proměnných, než je počet původních dat. V redukci dat je vyčísleno skóre pro každý faktor a poté se nahradí původní znaky novými skrytými proměnnými (faktory). Ve faktorové analýze je potřeba zadat počet společných faktorů a to ještě před provedením vlastní analýzy. [15, 17]

## **2.4 Shluková analýza (CLU)**

Je metoda zabývající se vyšetřováním podobností vícerozměrných objektů, u kterých je změřeno velké množství znaků a jejich následnou klasifikací objektů do shluků. Metoda je vhodná u objektů, které mají sklon se seskupovat. Analýza shluků má tři hlavní cíle a to popis systematiky, zjednodušení dat a identifikace vztahu. Nalezené shluky charakterizují strukturu dat a to s ohledem na vybrané znaky, jejíž volbu je nutné provádět na základě teoretických, praktických a pojmových hledisek. CLU metoda není vhodná pro rozlišení významných a nevýznamných znaků. Postup analýzy shluku se dělí podle shlukování na hierarchické shlukování, které se dále dělí na aglomerační a divizní shlukování a na nehierarchické shlukování. Hierarchické shlukování se provádí na základě posloupného uspořádání objektů a jejich shluků. [15, 17]

Hierarchicky uspořádané shluky se graficky zobrazují ve formě vývojového stromu nebo dendrogramu. Aglomerační způsob shlukování probíhá tak, že se dva objekty s nejmenší vzdáleností spojí do prvního shluku a vypočte se nová matice vzdáleností, v které jsou vynechány objekty z prvního shluku. Tento shluk se pak zařadí jako objekt. Tento postup se pak opakuje tak dlouho, nevytvoří-li všechny objekty jeden velký shluk, nebo dokud nezůstane určitý, předem zadaný počet shluků. U divizního shlukování je postup obrácený, kdy se vychází z množiny všech objektů jako z jednoho shluku. Postupným dělením tohoto shluku se získá systém shluků, dokud se nezastaví ve stadiu jednotlivých objektů. [15]

Nehierarchické uspořádání shluků se provádí na základě znalostí uživatele. Ten určí objekty, které mají tvořit zárodky nově vytvořených shluků. Metoda poté rozdělí objekty do shluků a to podle jejich eukleidovské vzdálenosti od těchto charakteristických objektů. [15]

### 3 Experimentální část

Cílem experimentu je určit, jaký vliv mají parametry textilií na jejich mačkavost a vytvoření regresního modelu pro predikci mačkavosti textilií.

Experiment je zaměřen na:

- Měření mačkavosti textilií
- Jednorozměrnou statistickou analýzu
- Anizotropii mačkavosti textilií
- Vícerozměrnou statistickou analýzu
- Tvorbu lineárního regresního modelu pro predikci mačkavosti textilií

#### 3.1 Charakteristika použitého materiálu

V experimentální práci bylo hodnoceno 26 tkanin bavlnářského typu, jejichž materiálové složení bylo, až na tři výjimky (B3 - 50% CO/ 50% PL, B5 - 97% CO/ 3% Spandex a B6 - 78% PL/ 22% CO) stejné a to 100% bavlna. Také vazba byla u všech materiálů stejná a to plátno, až na materiál B23, který měl vazbu kepr<sup>1/2</sup>. Plošná hmotnost, dostava a také tloušťka byla různá u všech bavlnářských tkanin. Materiály tvoří tři skupiny dle účelu použití. První skupinu tvoří materiály B1 až B7, což jsou materiály poskytnuté společností Alpine Pro, a. s. vhodné pro oděvy na sport a volný čas. Druhou skupinou jsou materiály B8 až B12 vhodné na košile (košiloviny). Konečnou, třetí skupinou jsou materiály B13 a B16 až B28, vhodné pro běžné šatovky. Materiály B14 a B15 byly z výběru odstraněny pro odlišné materiálové složení. Charakteristika použitých materiálů je uvedena v tabulce 1, kde je uvedeno označení materiálu, materiálové složení, dostava osnovy a útku, vazba, plošná hmotnost a tloušťka.

Tabulka 1 Charakteristika materiálů

Označení	Materiálové složení	Do [n/10cm]	Dú [n/10cm]	Vazba	Mp [g/m2]	h [mm]
B1	100% CO	312	248	PLÁTNO	157,7	0,607
B2	100% CO	382	243	PLÁTNO	114,6	0,553
B3	50% CO/ 50% PL	310	272	PLÁTNO	136,9	0,483
B4	100% CO	378	245	PLÁTNO	115,0	0,517
B5	97% CO/ 3% Spandex	510	297	PLÁTNO	132,0	0,510
B6	78% PL/ 22% CO	420	267	PLÁTNO	133,9	0,447
B7	100% CO	423	275	PLÁTNO	101,6	0,503
B8	100% CO	600	500	PLÁTNO	99,0	0,390
B9	100% CO	720	380	PLÁTNO	98,0	0,310
B10	100% CO	600	460	PLÁTNO	133,0	0,380
B11	100% CO	720	330	PLÁTNO	106,0	0,330
B12	100% CO	262	238	PLÁTNO	155,6	0,450
B13	100% CO	300	272	PLÁTNO	120,8	0,430
B16	100% CO	223	177	PLÁTNO	128,8	0,440
B17	100% CO	325	213	PLÁTNO	115,0	0,310
B18	100% CO	302	272	PLÁTNO	110,1	0,413
B19	100% CO	267	245	PLÁTNO	156,4	0,433
B20	100% CO	262	247	PLÁTNO	149,1	0,430
B21	100% CO	440	268	PLÁTNO	98,3	0,357
B22	100% CO	477	273	PLÁTNO	102,1	0,347
B23	100% CO	533	332	KEPR 1/2	144,1	0,410
B24	100% CO	372	237	PLÁTNO	67,4	0,273
B25	100% CO	263	238	PLÁTNO	149,7	0,483
B26	100% CO	330	253	PLÁTNO	115,4	0,367
B27	100% CO	260	227	PLÁTNO	141,2	0,470
B28	100% CO	422	337	PLÁTNO	75,8	0,367

## 3.2 Charakteristika použitého zařízení

Pro predikci mačkovosti textilií byly materiály hodnoceny dle inovativní metody snímání úhlu zotavení dle kapitoly 1.2.6. Dále byly materiály hodnoceny systémem KES a to jejich smyk, ohyb a tloušťka.

### 3.2.1 Systém KES

Systém KES (Kawabata Evolution System for Fabric) umožňuje testování šesti základních mechanických vlastností jako je tah, smyk, ohyb, stlačitelnost, koeficient tření a drsnost. Na základě těchto vlastností je možné stanovit celkové hodnocení omaku. V této práci byl pro vytvoření predikce mačkovosti textilií hodnocen pouze



smyk, ohyb a tloušťka. Ze všech 26 materiálů byl vystříhnut vzorek ve tvaru čtverce o rozměrech 20 x 20 cm po osnově.

Pro hodnocení smyku byl použit modul KES-FB1 (viz. obrázek 11). Vzorek hodnocené textilie je upnut mezi dvě čelisti, z níž přední čelist je pevná a zadní čelist se pohybuje rovnoběžně s osou  $\pm 8^\circ$ . Měření se provádí zvlášť ve směru osnovy a zvlášť ve směru útku. Výsledkem měření je smyková tuhost  $G$  [N/m], hystereze smykové síly při smykovém úhlu  $\pm 0,5^\circ$   $2HG$  [N/m] a hystereze smykové síly při smykovém úhlu  $\pm 5^\circ$  [N/m].



**Obrázek 11 KES FB1 dle [26]**

Pro hodnocení ohybové tuhosti byl použit modul KES-FB2 (viz. Obrázek 12), ten má dvě čelisti. Jedna je pohyblivá a druhá pevná. Vzorek je ohýbán ve směru osnovy a útku. Výsledkem měření pak jsou: Ohybová tuhost tkaniny  $B$  [Nm/m] a ohybový moment hystereze  $2HB$  [Nm/m].



**Obrázek 12 KES FB2 [26]**

Pro hodnocení tloušťky byl použit modul KES-FB3 (viz. obrázek 13). Měření se provádí v kolmém směru na plochu textilie a to na třech místech hodnocené textilie. Vzorek textilie je stlačován přítlačnou čelistí, která má plochu  $2\text{cm}^2$ . Výsledkem měření je tloušťka textilie  $T$  [mm].

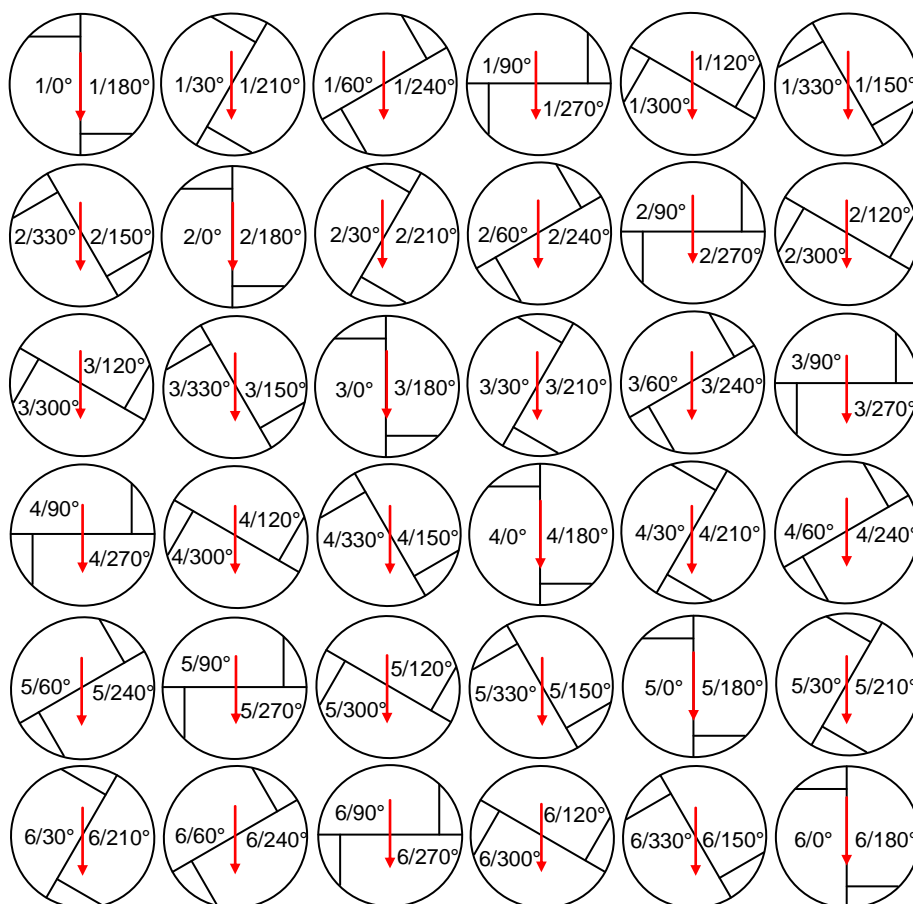


Obrázek 13 KES FB3 dle [26]

### 3.2.2 Inovativní metoda úhlu zotavení

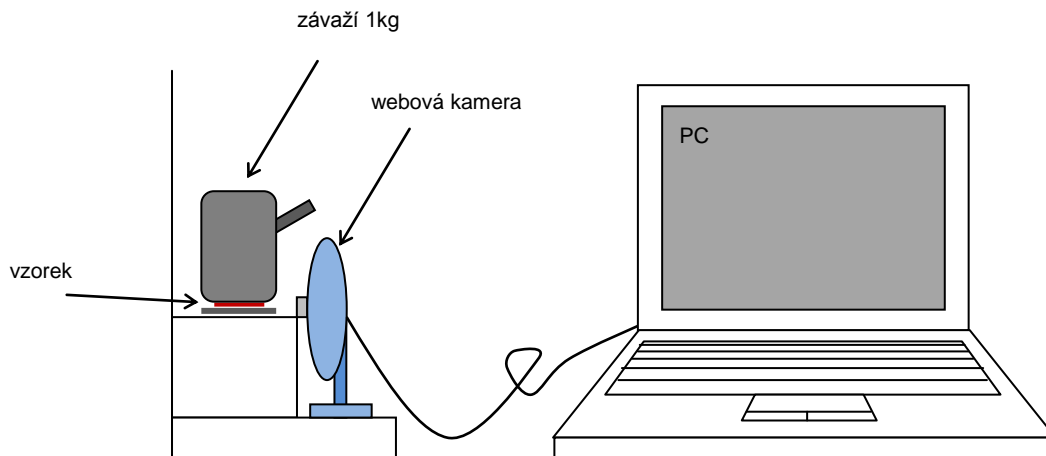
Tato metoda hodnocení úhlu zotavení spočívá v tom, že se úhel zotavení textilie měří pomocí webové kamery. Vzorky textilie jsou odebírány a měřeny tak, aby co nejlépe simulovaly skutečné zmačkání při nošení.

Vzorky materiálu mají půlkruhový tvar o poloměru 4,5 cm a jsou odebírány po třiceti stupních. Na materiálu jsou vyznačeny jako kruhy (viz. obrázek 14), které jsou středem rozdělené a to v úhlech  $0^\circ/180^\circ$ ,  $30^\circ/210^\circ$ ,  $60^\circ/240^\circ$ ,  $90^\circ/270^\circ$ ,  $120^\circ/300^\circ$ ,  $150^\circ/330^\circ$ . Místo přehnutí vzorku je vzdálené od okraje 1 cm. Kruhy jsou na materiálu vyznačené v šesti řadách a v šesti sloupcích. Pro každý stupeň je tedy odebráno 6 vzorků, což je dohromady 72 vzorků pro jeden materiál.



**Obrázek 14 Odběr vzorků**

Dále je půlkruhový vzorek připevněn kovovou svorkou a poté je přehnut a zatížen závaží o hmotnosti 1 kg. Po 5 minutách se odejme závaží a kamera zachytí úhel zotavení nejprve každou vteřinu po dobu 10 - ti vteřin, poté každých 5 vteřin po dobu 50 - ti vteřin a následně každou minutu po dobu 4 minut. Úhel se zjišťuje na 6 – ti vzorcích pro každý stupeň. Měřicí zařízení (viz. obrázek 15) obsahuje upínací zařízení, závaží o hmotnosti 1 kg, webovou kameru a počítač. Nasnímané úhly zotavení jsou uloženy a následně změřeny a to v programu NIS Elements. Mačkovost se vyjádří na základě konečného úhlu zotavení, což je úhel po 5 – ti minutách relaxace ( $\alpha_{300}$ ). Takto získaná data lze dále exportovat pro další zpracování.



Obrázek 15 Měřící zařízení

### 3.3 Jednorozměrná statistická analýza dat úhlu zotavení

V této kapitole je statisticky zpracována hodnota úhlu zotavení, která je náhodnou veličinou. Tato data byla získaná měřením, které je více popsáno v kapitole 3.2.2. V tabulce 2 a 3 jsou uvedené charakteristiky poskytující informace o chování náhodné veličiny. Hodnoty jsou získané pomocí softwaru QC Expert a to pro úhel zotavení v 1. vteřině a v 5. minutě. Jedná se o tyto hodnoty: průměr, rozptyl, směrodatná odchylka, šikmost, špičatost, medián, modus, IS spodní, IS horní a variační koeficient, jejichž charakteristika je popsána v příloze 1. Data by měla být normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Z obou tabulek je patrné, že materiál s nejmenší mačkavostí je B24, jehož průměrná hodnota úhlu zotavení v páté minutě je  $151,89^\circ$  a v první sekundě  $126,62^\circ$ . Naopak největší mačkavostí se vyznačuje materiál B16, který má průměrný úhel zotavení  $99,60^\circ$  v páté minutě a  $70,34^\circ$  v první sekundě zotavení úhlu, spolu s materiálem B17, jehož úhel zotavení v páté minutě je  $99,62^\circ$  a v první sekundě  $59,72^\circ$ .

Největší rozptyl dat vykazuje materiál B3 a to  $351,53^\circ$  v páté minutě odlehčení vzorků a  $496,87^\circ$  v první sekundě odlehčení vzorků. Nejmenší rozptyl dat má naopak materiál B19,  $23,55^\circ$  v páté minutě a  $26,51$  v první sekundě.

Materiál B13 se projevoval v páté minutě největší zápornou šikmostí dat, která je  $-0,63$  a materiál B17 se v páté minutě projevoval naopak největší kladnou šikmostí dat, která má hodnotu  $0,50$ . V první sekundě se největší zápornou šikmostí dat vyznačoval materiál B16, jehož hodnota je  $-0,51$  a největší kladnou šikmost dat v první sekundě má opět materiál B17 s hodnotou  $0,40$ . Je-li šikmost kladná, odlehlejší hodnoty se

vyskytují vpravo od střední hodnoty a je-li šikmost záporná, tyto hodnoty se vyskytují vlevo od střední hodnoty. Všechny materiály se pohybují okolo nuly, lze tedy říct, že všechny jsou normálního rozdělení.

Špičatost u materiálu B10 je v páté minutě odlehčení nejnižší ze všech materiálů (1,87) a nejvyšší u materiálu B26 (3,09). V první sekundě odlehčení má nejnižší špičatost materiál B3 (1,89) a nejvyšší materiál B1 (3,10). Pro normální rozdělení se špičatost rovná 3, čemuž se nejvíce přibližoval materiál B24 s hodnotou 3,02 v páté minutě po odlehčení vzorků. Špičatost se u všech materiálů pohybuje okolo 3, lze tedy konstatovat, že všechny jsou normálního rozdělení.

Modus v tabulkách ukazuje nejčastěji se vyskytující hodnoty každého materiálu a medián každého materiálu představuje jeho prostřední kvantil rozdělující výběr prvků na dvě stejné části obsahující 50% prvků. Variační koeficient je míra relativního rozptýlení, která vyšla nejvíce u materiálu B24 a to jak v páté minutě, tak v první sekundě. A nejmenší míra relativního rozptýlení v páté minutě i první sekundě je u materiálu B3.

Tabulka 2 Data získaná pomocí softwaru QC Expert pro  $\alpha_{300}$

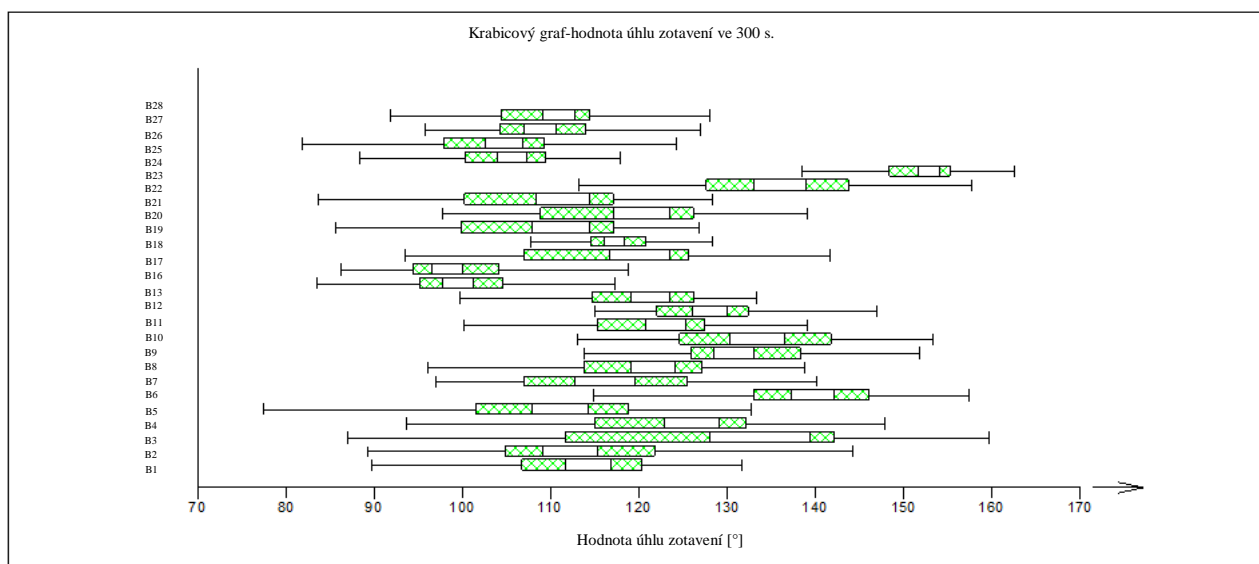
α300 [°]																											
Parametry textilie	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	
Průměr [°]	113,37	113,14	129,12	123,03	109,29	138,66	116,25	120,38	131,56	133,26	121,07	127,75	119,83	99,60	99,62	117,07	117,80	109,06	119,03	109,05	135,89	151,89	104,94	103,62	109,60	110,33	
Rozptyl [°2]	93,21	143,81	351,53	157,88	160,49	79,32	130,82	92,31	74,58	98,46	84,82	48,06	73,12	55,60	60,85	128,84	23,55	124,07	110,32	124,60	111,70	28,13	39,75	64,65	46,75	57,98	
Směrodatná odchylka [°]	9,65	11,99	18,75	12,57	12,67	8,91	11,44	9,61	8,64	9,92	9,21	6,93	8,55	7,46	7,80	11,35	4,85	11,14	10,50	11,16	10,57	5,30	6,30	8,04	6,84	7,61	
Šikmost	-0,47	0,08	-0,40	-0,38	-0,42	-0,37	0,08	-0,30	0,08	0,05	-0,41	0,18	-0,63	-0,04	0,50	-0,31	0,21	-0,21	-0,21	-0,25	-0,11	-0,48	-0,42	-0,30	0,26	0,13	
Špičatost	2,75	2,62	2,12	2,30	2,50	2,72	2,09	2,47	2,60	1,87	2,35	2,64	2,54	2,78	2,70	2,23	2,39	2,05	2,16	2,09	2,20	3,02	2,72	3,09	2,71	2,75	
Medián [°]	114,33	112,30	133,75	126,04	111,15	139,72	116,11	121,69	130,80	133,44	123,12	128,07	121,40	99,50	98,35	120,07	117,31	111,21	120,45	111,38	136,04	152,94	105,67	104,77	108,85	111,01	
Modus [°]	116,19	110,65	142,73	131,89	114,77	141,78	115,84	124,24	129,31	133,78	127,12	128,70	124,45	99,31	95,88	125,92	116,34	115,40	123,21	115,92	136,33	154,99	107,10	107,02	107,41	112,31	
Is spodní [°]	111,82	109,33	128,82	122,07	104,54	137,06	112,50	119,25	128,22	127,84	119,91	125,83	118,72	97,52	95,50	117,25	115,56	108,28	117,46	107,53	132,57	151,48	104,02	102,37	106,86	108,57	
Is horní [°]	116,83	115,26	138,67	130,01	117,76	142,38	119,72	124,13	133,38	139,04	126,33	130,31	124,08	101,48	101,20	122,89	119,05	114,14	123,43	115,23	139,51	154,40	107,32	107,17	110,85	113,44	
Variační koeficient [%]	8,52	10,60	14,52	10,21	11,59	6,42	9,84	7,98	6,56	7,45	7,61	5,43	7,14	7,49	7,83	9,70	4,12	10,21	8,82	10,24	7,78	3,49	6,01	7,76	6,24	6,90	

Tabulka 3 Data získaná pomocí softwaru QC Expert pro  $\alpha_1$

	α1 [°]																											
Parametry textiliie	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28		
Průměr [°]	88,51	86,17	105,73	97,91	84,08	117,19	92,10	91,40	103,45	103,40	92,18	79,58	77,62	70,34	59,72	88,11	81,40	76,02	93,25	83,83	107,77	126,62	71,82	73,59	78,48	83,29		
Rozptyl [°2]	101,52	141,43	496,87	219,82	171,00	105,11	145,99	115,83	102,73	135,64	88,53	51,61	64,65	55,33	52,91	130,92	26,51	108,61	120,64	128,51	142,23	46,44	38,27	41,36	39,10	58,99		
Směrodatná odchylka [°]	10,08	11,89	22,29	14,83	13,08	10,25	12,08	10,76	10,14	11,65	9,41	7,18	8,04	7,44	7,27	11,44	5,15	10,42	10,98	11,34	11,93	6,81	6,19	6,43	6,25	7,68		
Šikmost	-0,40	-0,17	-0,34	-0,11	-0,46	-0,21	0,18	-0,10	0,04	-0,04	-0,25	-0,08	-0,41	-0,51	0,40	0,11	-0,03	0,10	0,03	-0,20	0,09	-0,01	-0,02	-0,30	0,20	-0,23		
Špičatost	3,10	2,70	1,89	2,51	2,70	2,94	2,10	2,16	2,27	1,96	2,43	2,66	2,65	2,98	2,44	2,51	2,39	2,32	2,24	2,33	2,07	2,46	2,34	2,75	2,53	2,51		
Medián [°]	89,58	88,54	112,90	99,65	85,48	118,20	90,20	91,08	103,46	103,73	93,61	79,81	79,00	71,08	58,15	88,87	81,55	76,06	92,96	84,92	108,79	127,08	72,45	75,03	78,23	83,49		
Modus [°]	91,66	93,15	126,84	103,02	88,20	120,17	86,50	90,46	103,47	104,36	96,39	80,24	81,66	72,51	55,10	90,34	81,84	76,13	92,40	87,03	110,78	127,95	73,68	77,82	77,74	83,87		
Is spodní [°]	86,72	84,71	104,08	95,24	78,87	115,71	86,15	87,86	100,13	99,57	90,39	77,19	75,85	69,55	55,85	84,35	79,70	73,08	89,90	81,69	102,90	123,96	70,38	72,94	75,86	80,15		
Is horní [°]	92,44	92,37	121,71	104,05	92,08	120,69	94,25	94,30	106,78	107,88	96,84	82,42	82,15	72,61	60,45	93,39	83,40	79,04	96,02	88,14	114,68	130,19	74,52	77,12	80,60	86,83		
Variační koeficient [°]	11,38	13,80	21,08	15,14	15,55	8,75	13,12	11,77	9,80	11,26	10,21	9,03	10,36	10,57	12,18	12,99	6,32	13,71	11,78	13,52	11,07	5,38	8,61	8,74	7,97	9,22		

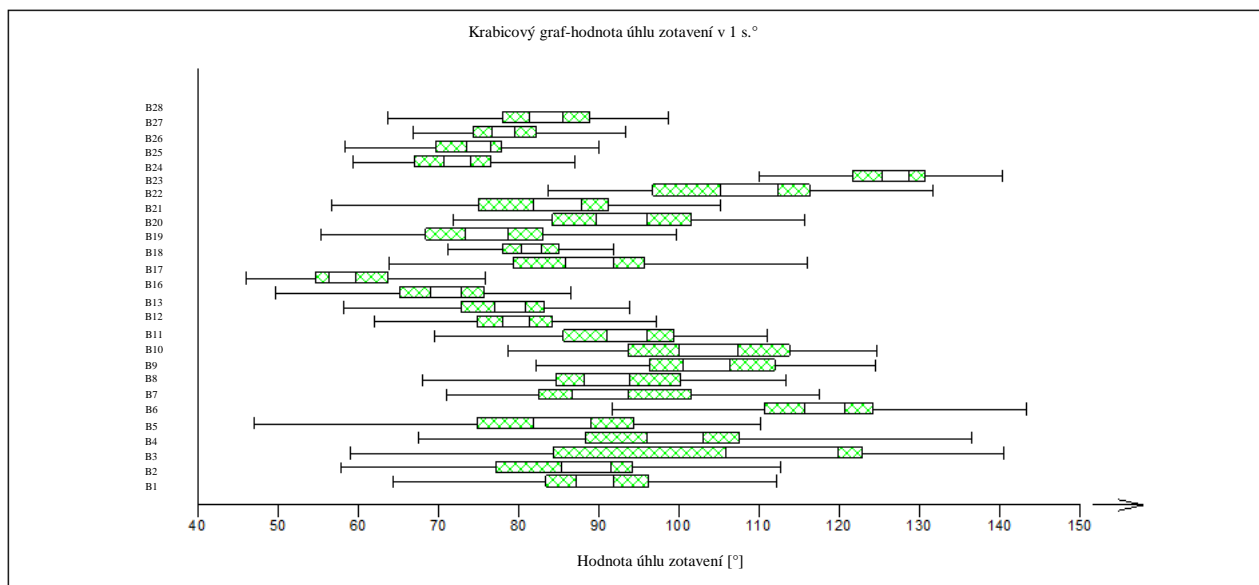
V softwaru QC Expert 3.3 vznikl krabicový graf, který je vyobrazen na obrázku 16 pro  $\alpha_{300}$  a na obrázku 17 pro  $\alpha_1$ . Graf umožňuje posoudit variabilitu mediánu, která je vyjádřena dolní a horní mezí intervalu spolehlivosti IS mediánu, který je na grafu znázorněn bílým proužkem v okolí mediánu (medián je zde ve středu bílého pruhu). Boční hrany krabicového grafu označují horní a dolní kvantil. Konce grafu vyjadřují minimální a maximální hodnotu daného datového souboru mimo odlehlých dat. Ty jsou v grafu znázorněny červenými body. Odlehlá data je možné, vzhledem k objektivnosti, nezapočítávat a lze je vyřadit z pozorování, ale jen pokud soubor dat není výrazně zmenšen.

Každý diagram krabicového grafu byl vytvořen ze 72 hodnot úhlu zotavení  $\alpha_{300}$  a  $\alpha_1$ . Jedná se tedy o 6 měření z každého z dvanácti směrů, ve kterých byly vzorky materiálů odebírány. Z krabicového diagramu byla odstraněna odlehlá měření kvůli správnosti souboru dat, kdy musejí splňovat normalitu rozdělení a homogennost souboru. Podle těchto krabicových grafů má největší mačkavost textilie B16 a B17 a nejméně mačkavou je textilie B24. Největší rozptyl dat vykazuje textilie B3 a naopak nejmenší rozptyl dat vykazuje textilie B19.



Obrázek 16 Krabicový graf hodnot úhlu zotavení v 300s (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

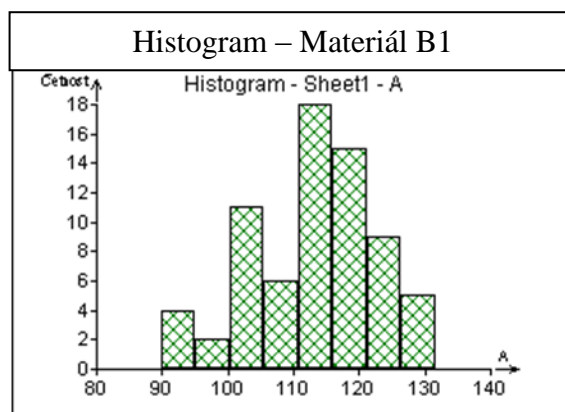




**Obrázek 17** Krabicový graf hodnot úhlu zotavení v 1s (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

Dále byly v programu QC Expert zhotoveny další diagnostické grafy pro provedení průzkumové analýzy dat, díky které je možné vyšetřit statistické zvláštnosti dat (lokální koncentrace dat, tvarové zvláštnosti rozdělení dat a vybočující data). Je-li rozdělení dat nevhodné (asymetrické), je nutné nejprve provést vhodnou úpravu dat. Je dále nutné ověřit základní předpoklady, které jsou kladeny na výběr a to nezávislost prvků výběru, homogenita rozdělení výběru (prvky pocházejí z jednoho rozdělení s konstantním rozptylem a žádné z jeho prvků nevybočují), minimální rozsah výběru a normalita rozdělení výběru. Mezi tyto diagnostické grafy patří histogram, Q-Q graf, diagram rozptýlení, graf pro odhad hustoty pravděpodobnosti, krabicový graf, autokorelační graf, graf trendu vyhlazení, kvantilový graf, P-P graf, graf rozptýlení s kvantily, graf polosum, graf symetrie, graf špičatosti a kruhový graf.

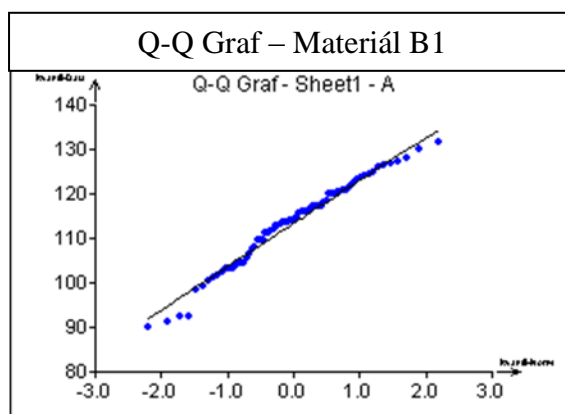
**Histogram** ukazuje jaká je v jednotlivých intervalech četnost. Na obrázku 18 je vidět histogram materiálu B1. Histogramy každého materiálu pro úhel zotavení ve 300 sekundě jsou pak uvedeny v příloze 2. Na ose x jsou jednotlivé třídy, které definují šířky sloupců a na ose y je uvedena četnost hodnot v jednotlivých intervalech definující výšku sloupců.



Obrázek 18 Histogram pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

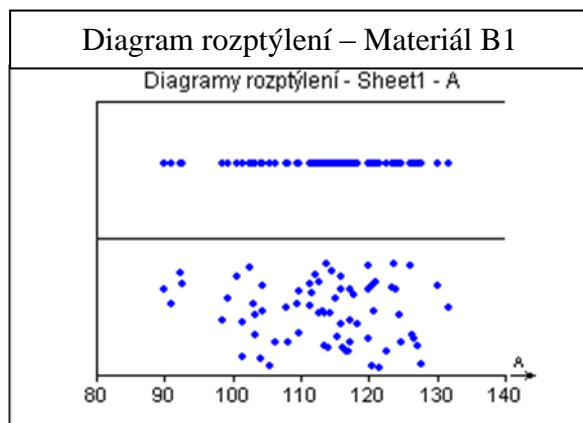
**Q-Q graf** (kvantilově - kvantilový graf) umožňuje posoudit, zda data pochází ze známého rozdělení. Q-Q graf také umožňuje posoudit šikmost, špičatost, normalitu a homogennost. U normálního rozdělení je grafem přímka. U výběru s odlehlými daty je grafem také přímka, jejíž koncové body se nacházejí mimo tuto přímku. Šikmostí a špičatostí se mění tvar přímky v grafu. Pokud mají data v Q-Q grafu kladnou šikmost, křivka má konvexní tvar. Data se zápornou šikmostí mají konkávní tvar. Pokud je špičatost dat větší než u normálního rozdělení, křivka má tvar spíše konkávně – konvexní. A pokud je špičatost naopak menší než u normálního rozdělení, je křivka grafu konvexně – konkávní. Na obrázku 19 je zobrazen Q-Q graf pro materiál B1. Ostatní grafy jsou v příloze 2.

Z Q-Q grafů (viz. příloha 2) lze vyčíst, že materiály B1, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B18, B19, B23, B24, B25, B26, B27 a B28 jsou normálního rozdělení a dle diagnostických grafů je špičatost u materiálů B2 a B26 vyšší než 3. U ostatních materiálů je špičatost nižší než u normálního rozdělení.



Obrázek 19 Q-Q graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

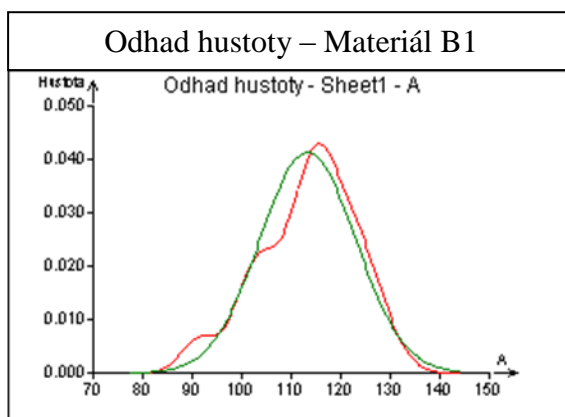
**Diagram rozptýlení** je jednorozměrná projekce kvantilového grafu do osy x. Diagram ukazuje na lokální koncentraci dat a indikuje podezřelá a odlehlá měření. V ose x jsou zobrazené skutečné hodnoty a v ose y jsou libovolné. Stejná nebo blízká data se mohou překrývat nebo splývat, proto jsou v dolní části grafu data náhodně na ose y rozmístěna. Diagram rozptýlení pro materiál B1 lze vidět na obrázku 20, pro ostatní materiály jsou diagramy rozptýlení v příloze 2.



Obrázek 20 Diagram rozptýlení pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

**Odhad hustoty** pravděpodobnosti slouží k porovnání pravděpodobnostní funkce normálního rozdělení (na grafech v příloze 2 je znázorněna zeleně plnou čarou) s jádrovým odhadem hustoty (na grafech v příloze 2 je znázorněn tečkovaně červenou čarou) vypočítaného ze změřených dat. Na ose x jsou zobrazené proměnné x, tedy hodnoty úhlu zotavení textilních vzorků a na ose y je zobrazena hustota pravděpodobnosti  $f(x)$ . Pokud se v grafu na křivce objevuje více maxim, může to být způsobeno nehomogeností nebo shlukem dat. Při dostatečném množství dat, které jsou použity k vytvoření jádrového odhadu, a normality dat jsou si křivky podobné. Na obrázku 21 je zobrazen graf odhadu hustoty pro materiál B1.

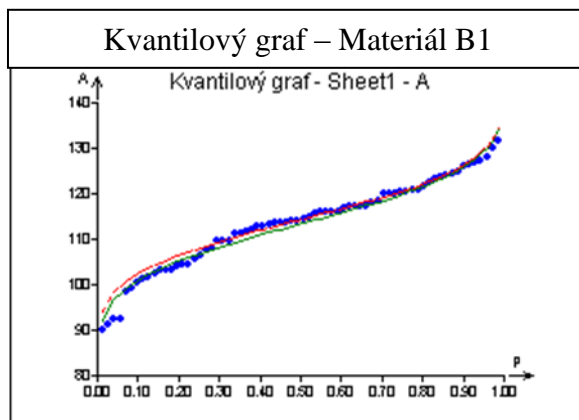
Z grafů odhadu hustoty (viz. příloha 2) lze konstatovat, že u materiálů B2, B6, B8, B11, B13, B17, B19, B23, B24, B25, B26 a B27 jsou data homogenní a tudíž se v nich netvoří shluky. U zbylých materiálů se shluky tvoří a na křivce jádrového odhadu jsou dvě a více maxim.



Obrázek 21 Odhad hustoty pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

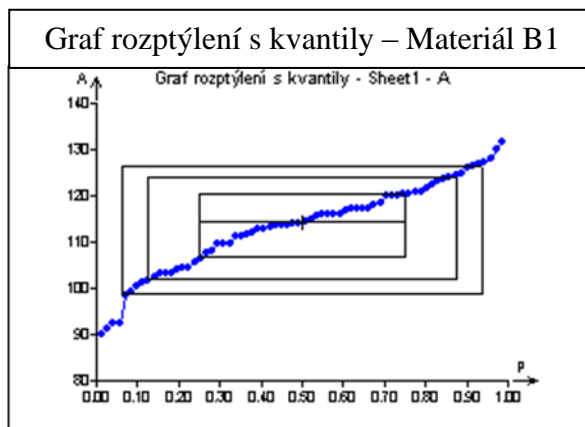
**Kvantilový graf** umožňuje přehledné znázornění dat a snadnější rozlišení tvaru rozdělení symetrické nebo zešíkmené a to k vyšším nebo nižším hodnotám. Na ose x je zobrazena pořadová pravděpodobnost a na ose y je zobrazena pořádková statistika. Na grafu jsou zakresleny kvantily dat, další křivka zobrazuje kvantilovou funkci normálního rozdělení klasických odhadů parametrů polohy a rozptýlení, tj. aritmetického průměru a směrodatné odchylky (na grafech v příloze 2 je znázorněna zeleně) a další kvantilovou funkci normálního rozdělení robustních odhadů, tj. mediánu (na grafech v příloze 2 je znázorněna červeně). Porovnáním těchto křivek s kvantilovými body grafu lze určit, zda je vhodnější průměr nebo medián pro odhad střední hodnoty. V kvantilovém grafu na obrázku 22 je ukázka pro materiál B1, ostatní kvantilové grafy lze vidět v příloze 2.

Podle kvantilových grafů (viz. příloha 2) je u všech materiálů vhodnější použít pro odhad střední hodnoty aritmetický průměr, neboť se body nejvíce přibližují zelené křivce.



Obrázek 22 Kvantilový graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

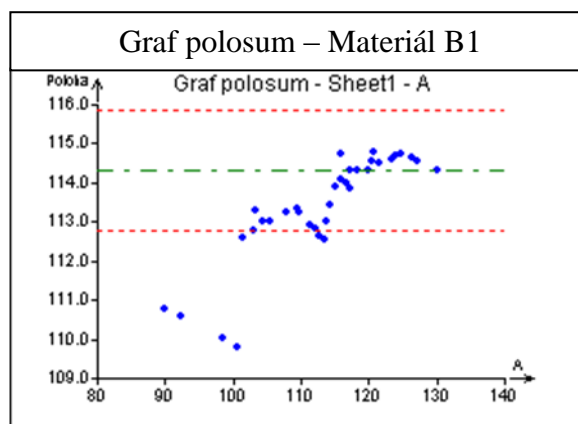
**Graf rozptýlení s kvantily** je odhadem kvantilové funkce výběru (shodné body s body v kvantilovém grafu). V grafu jsou zakresleny tři pomocné kvantilové obdélníky, které jsou symetricky uvnitř sebe, které odpovídá symetrii dat. Odlehlá pozorování jsou na grafu zobrazena mimo největšího obdélníku. Vodorovná přímka uprostřed nejmenšího obdélníku znázorňuje medián a na ni kolmá přímka představuje interval spolehlivosti mediánu. Na obrázku 23 je ukázán graf rozptýlení kvantily pro materiál B1, grafy rozptýlení s kvantily pro všechny materiály jsou pak v příloze 2.



**Obrázek 23** Graf rozptýlení s kvantily pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

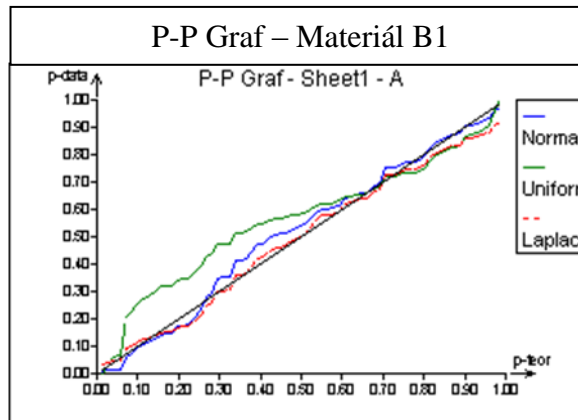
**Graf polosum** určuje asymetrii rozdělení. U symetrického rozdělení je grafem horizontální přímka. Na ose x jsou vyznačeny pořádkové statistiky a na ose y jsou vyznačeny hodnoty  $Z_i = 0,5(x_{(n+1-i)} + x_{(i)})$ . Medián v grafu polosum nalezneme na zelené čerchované přímce jako poslední bod ležící na této přímce a jeho interval spolehlivosti ukazují dvě čárkované červené přímky. Na obrázku 24 je zobrazen graf polosum pro materiál B1, ostatní grafy polosum pro všechny materiály jsou v příloze 2.

V grafu polosum (viz. příloha 2) vykazují materiály B1, B2, B3, B4, B5, B6, B8, B11, B12, B13, B18, B20, B21, B23, B24, B25 a B26 stoupající trend, což znamená, že šikmost dat je záporná a více odlehlých hodnot se nachází vlevo od střední hodnoty. U zbývajících materiálů je šikmost dat kladná, neboť graf polosum vykazuje klesající trend. To ukazuje na to, že více odlehlých hodnot se nachází vpravo od střední hodnoty.



Obrázek 24 Graf polosum pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

**P-P graf** neboli pravděpodobnostní graf slouží k posouzení normality dat. Na ose x je vyznačena pořadová pravděpodobnost  $P_i$  a na ose y je  $F_T(S_{(i)})$ , kde  $S_{(i)}$  je standardizovaná proměnná. V grafu jsou zakresleny křivky pro normální (modrá křivka v grafech v příloze 2), Laplaceovo (červená přerušovaná křivka v grafech v příloze 2) a rovnoměrné (zelená křivka v grafech v příloze 2) rozdělení. Naměřené hodnoty jsou v grafu znázorněné černou přímkou. Rozdělení, které je nejbližší černé přímce odpovídá naměřeným datům. Na obrázku 25 je ukázán P-P graf pro materiál B1.

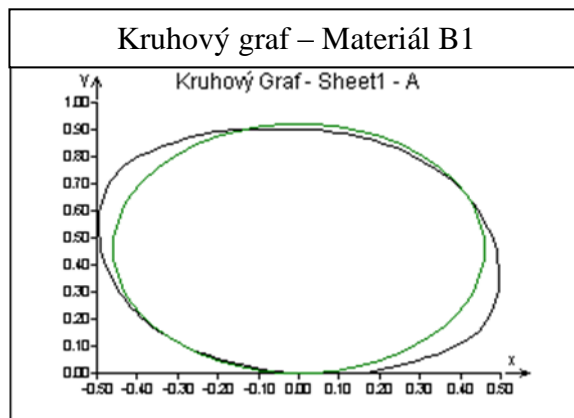


Obrázek 25 P-P graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

**Kruhový graf** lze použít pro vizuální ověření hypotézy normality, v takovém případě se tvar grafu blíží ke kružnici. Pokud jsou odchylky od kružnice výrazné, znamená to, že rozdělení výběru je jiné než normální. Pokud je tvarem grafu elipsa s hlavní osou umístěnou úhlopříčně, znamená to, že se jedná o symetrické rozdělení. A pokud je tvarem grafu elipsa s osou rovnoběžnou s osou x, znamená to, že se jedná o rovnoměrné rozdělení. Černá elipsa v grafu znázorňuje změřená data a zelená elipsa znázorňuje normální rozdělení dat. Jsou-li elipsy téměř shodné, pak se jedná o normální

rozdělení. Kruhový graf materiálu B1 je zobrazen na obrázku 26. Ostatní kruhové grafy jsou k nalezení v příloze 2.

Pro materiály B2, B6, B7, B9, B12, B16, B17, B19, B26, B27 a B28 lze na základě kruhového grafu (viz. příloha 2) zkonstatovat, že hodnoty jsou normálního rozdělení a to proto, že se k sobě elipsy tvarem přibližují.



Obrázek 26 Kruhový graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

### Ověření předpokladů o datech

Předpokladem v praxi je, že data tvoří náhodný výběr. Proto, aby byl výběr reprezentativní, je charakterizován třemi důležitými předpoklady. Ty je potřeba před analýzou ověřit. Jedná se o nezávislost, homogenitu a normalitu výběru.

**Ověřování nezávislosti dat souboru** – Vlivem měnících se podmínek měření s časem nastane, že prvky výběru jsou vzájemně závislé. Další faktory způsobující závislost je nesprávný výběr vzorků, nestabilita měřicího zařízení, nekonstantními podmínky při měření, časová závislost prvků a zanedbání působení okolí na vzorek při měření. Pro identifikaci časově závislých prvků nebo závislosti jednotlivých měření související s pořadím se použije test významnosti autokorelačního koeficientu podle vztahu 18. Jsou-li prvky výběru vzájemně nezávislé a platí nulová hypotéza, autokorelační koeficient je roven nule. Autokorelace je vyjádřena Neumannovým poměrem (viz. rovnice 19). Autokorelační koeficienty všech použitých materiálů jsou uvedeny v tabulce 4.

$$t_n = \frac{T_1 \sqrt{n+1}}{\sqrt{1-T_1^2}}, \text{ kde } T = \left(1 - \frac{T}{2}\right) \sqrt{\frac{n^2-1}{n^2-4}} \quad (18) [17]$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (19) [17]$$

Tabulka 4 Autokorelační koeficienty materiálů B1-B28

Autokorelační koeficienty			
<b>B1</b>	0,192	<b>B16</b>	0,224
<b>B2</b>	0,338	<b>B17</b>	0,318
<b>B3</b>	0,503	<b>B18</b>	0,451
<b>B4</b>	0,433	<b>B19</b>	0,271
<b>B5</b>	0,434	<b>B20</b>	0,522
<b>B6</b>	0,503	<b>B21</b>	0,514
<b>B7</b>	0,241	<b>B22</b>	0,578
<b>B8</b>	0,352	<b>B23</b>	0,456
<b>B9</b>	0,180	<b>B24</b>	0,205
<b>B10</b>	0,354	<b>B25</b>	0,243
<b>B11</b>	0,266	<b>B26</b>	0,413
<b>B12</b>	0,138	<b>B27</b>	0,227
<b>B13</b>	0,062	<b>B28</b>	-0,076

V tabulce č. 4 jsou uvedeny autokorelační koeficienty všech materiálů, z kterých je patrné, že nulová hypotéza je zamítnuta (koeficienty nejsou rovny nule). Z testu nezávislosti dat v souboru vyplývá, že naměřená data jsou na sobě závislá, což je zapříčiněno způsobem, jakým byly vzorky měřeny. Data úhlu zotavení každého vzorku byla měřena na šesti vzorcích stejného směru odebrání vzorku a následně seříděna pod sebe.

**Test homogeneity** – Předpokladem homogenního výběru je, že všechny prvky výběru pocházejí ze stejného rozdělení a mají konstantní rozptyl. Nehomogenost výběru se vyskytuje při výrazné nestejnoměrnosti měřených vlastností vzorků, nebo když se náhle změní podmínky experimentu. Jedním a hlavním faktorem, který silně znehodnocuje odhady, jsou odlehlá měření. Ta lze snadno identifikovat v grafech, protože se výrazně liší svou velikostí od ostatních hodnot. Technikou modifikace dolní vnitřní hradby  $B_D$  (viz. rovnice 20) a modifikace horní vnitřní hradby  $B_H$  (viz. rovnice 21) lze určit vybočující měření. Spodní a horní mez (hradby) všech měřených materiálů jsou uvedeny v tabulce 5.

$$B_D = \tilde{x}_{0,25} - K(\tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25}) \quad (20) [17]$$

$$B_H = \tilde{x}_{0,75} + K(\tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25}) \quad (21) [17]$$



Tabulka 5 Spodní a horní mez materiálu B1-B28

Materiál	Spodní mez	Horní mez	Materiál	Spodní mez	Horní mez
B1	73,437	152,073	B16	72,790	126,060
B2	65,466	160,614	B17	72,066	125,868
B3	40,473	211,670	B18	65,992	166,530
B4	69,766	174,904	B19	99,500	135,410
B5	62,240	157,869	B20	59,602	156,748
B6	103,811	174,970	B21	70,408	164,692
B7	65,958	166,182	B22	60,774	155,976
B8	83,202	157,128	B23	90,842	180,158
B9	95,906	167,564	B24	132,543	170,657
B10	85,866	180,204	B25	78,369	130,951
B11	86,786	155,204	B26	70,484	135,494
B12	98,146	155,694	B27	82,970	135,080
B13	86,041	153,919	B28	81,528	136,932

Homogenita u všech 26-ti testovaných materiálů nebyla zamítnuta, což znamená, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

**Test normality** – Normalita výběru dat je důležitá, neboť je na ní založena celá standardní analýza dat. Testem normality se vyjadřuje, jak moc se rozdělení zkoumaných dat přibližuje normálnímu rozdělení. Normalitu datového souboru lze ověřit testem kombinace výběrové šikmosti a špičatosti dle vztahu 22. V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty testu normality, kde testové kritérium vyjadřuje vypočtený test normality testovací statistikou, kritický kvantil  $\chi^2$  znázorňuje teoretický příslušný kvantil t-rozdělení a p-hodnota je pravděpodobnost odpovídající vypočtené statistice.

$$\chi^2_{exp} = \frac{\hat{g}_1^2}{D(\hat{g}_1)} + \frac{[\hat{g}_2 - E(\hat{g}_2)]^2}{D(\hat{g}_2)} \quad (22) [17]$$

Kde:  $\hat{g}_1$  je šikmost a  $D(\hat{g}_1)$  její rozptyl,

$\hat{g}_2$  je špičatost,  $D(\hat{g}_2)$  její rozptyl a  $E(\hat{g}_2)$  její střední hodnota.

Rozptyl šikmosti je dán rovnicí 23.

$$D(\hat{g}_1) \approx \frac{(n-2)}{(n+1)(n+3)} \quad (23) [17]$$

Rozptyl špičatosti je dán rovnicí 24.

$$D(\hat{g}_2) \approx \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)} \quad (24) [17]$$

Střední hodnota špičatosti je dán rovnicí 25.

$$E(\hat{g}_2) = 3 - \frac{6}{n+1} \quad (25) [17]$$

Tabulka 6 Test normality materiálu B1-B28

Materiál	Testové kritérium	Kritický kvantil $\chi^2$	p-hodnota	Materiál	Testové kritérium	Kritický kvantil $\chi^2$	p-hodnota
B1	2,949	5,991	0,229	B16	0,066	5,991	0,968
B2	0,163	5,991	0,922	B17	3,308	5,991	0,191
B3	2,325	5,991	0,313	B18	1,570	5,991	0,456
B4	2,186	5,991	0,335	B19	0,783	5,991	0,676
B5	2,522	5,991	0,283	B20	0,807	5,991	0,668
B6	2,013	5,991	0,366	B21	0,773	5,991	0,680
B7	0,146	5,991	0,930	B22	1,106	5,991	0,575
B8	1,450	5,991	0,484	B23	0,268	5,991	0,875
B9	0,149	5,991	0,928	B24	3,044	5,991	0,218
B10	0,089	5,991	0,957	B25	2,537	5,991	0,281
B11	2,395	5,991	0,302	B26	1,463	5,991	0,481
B12	0,620	5,991	0,733	B27	1,186	5,991	0,553
B13	4,468	5,991	0,107	B28	0,323	5,991	0,851

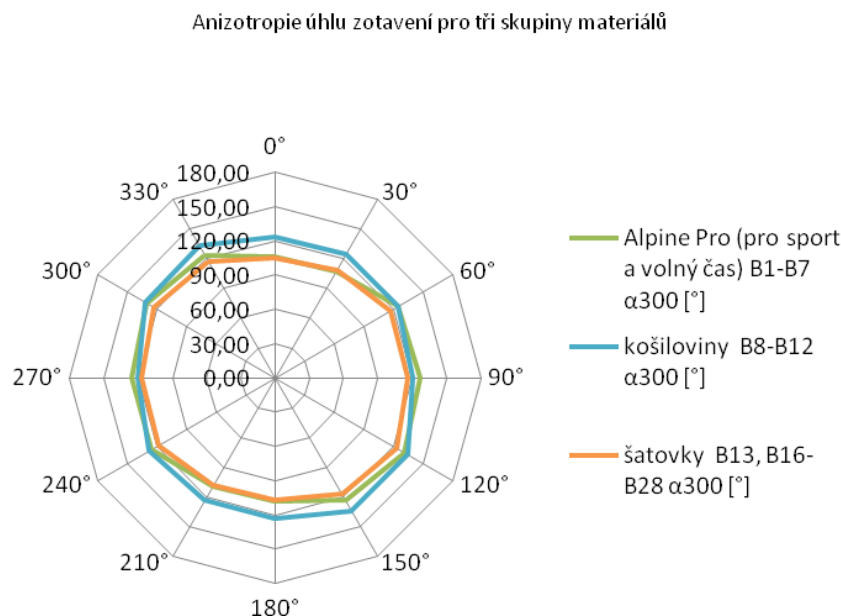
Normalita pro všechny naměřené hodnoty u všech 26-ti materiálů nebyla zamítnuta.

### 3.4 Anizotropie mačkovosti textilií

Na polárních diagramech se znázorňuje průměrná velikost úhlu zotavení, která je vypočítaná ze šesti měření pro každý vzorek se stejným úhlem odběru vzorku. Polární diagramy pro každý materiál po 1 sekundě a po 300 sekundách jsou uvedeny v příloze 3.

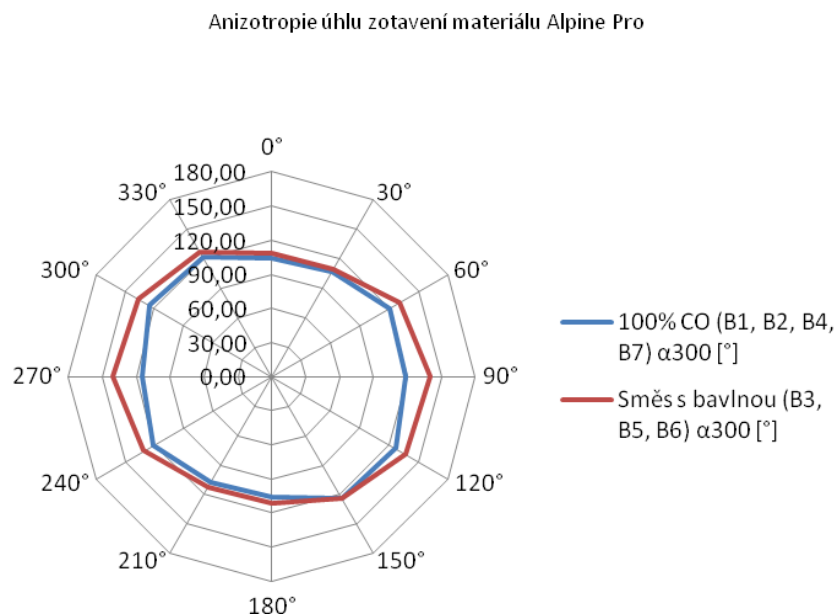
Na obrázku 27 je zobrazen polární diagram třech skupin zkoumaných materiálů. Ty jsou rozděleny podle účelu použití na textilie pro sport a volný čas, poskytnuté společností Alpine Pro (materiály B1 až B7), dále na košiloviny (materiály B8 až B12) a poslední skupinou jsou běžné šatovky (materiály B13 a B16 až B28). Z grafu lze vyčíst, že košilové materiály vykazují ze všech tří skupin nejlepší hodnoty úhlu zotavení, která je ve všech směrech odebrání vzorků přibližně stejná. Na tuto skutečnost má pravděpodobně vliv dostava osnovy a útku, která je u košilových materiálů větší (v průměru 580 osnovních nití/10cm a 382 útkových nití/10cm) než u zbylých dvou skupin. Materiály od firmy Alpine Pro dopadly velice podobně jako šatovky a to díky obdobným hodnotám dostavy osnovy a útku, která je u materiálů Alpine Pro v průměru 391 osnovních nití/10cm a 264 útkových nití/10cm a u šatovek v

průměru 341 osnovních nití/10cm a 256 útkových nití/10cm. Jak materiály firmy Alpine Pro tak šatovky vykazují lepší relaxaci ve směru osnovy ( $90^\circ$ ) oproti směru útku ( $0^\circ$ ), což je zapříčiněno větší průměrnou dostavou osnovních nití.



**Obrázek 27** Polární diagram úhlu zotavení pro tři skupiny materiálů

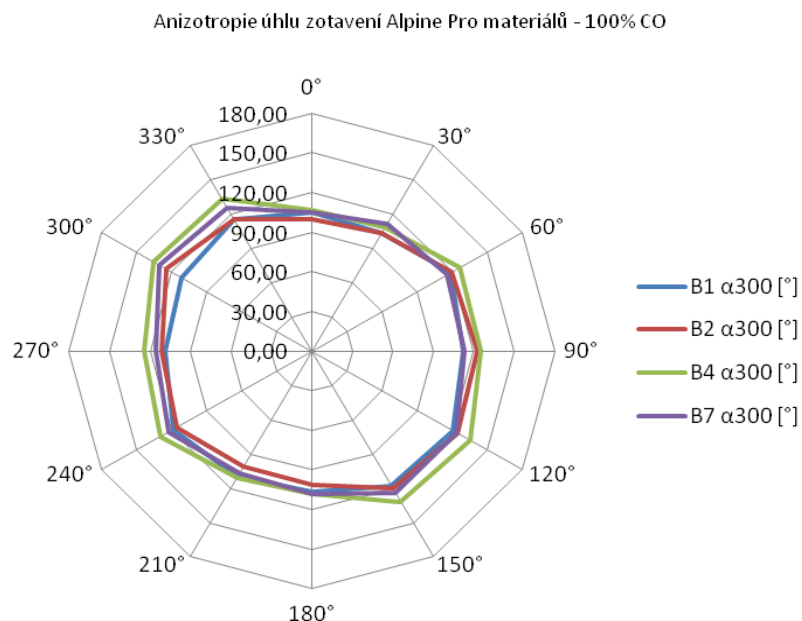
Dále byla analyzována anizotropie Alpine Pro materiálů, které byly rozděleny do dvou skupin podle materiálového složení. V první skupině jsou materiály z čisté bavlny a ve druhé jsou materiály, které jsou ve směsi s bavlnou. Polární diagram na obrázku 28 ukazuje, že směsové materiály, které obsahují určitá procenta chemických vláken, jsou méně mačkové než materiály ze stoprocentní bavlny. Směsové materiály vykazují větší relaxaci v osnově ( $90^\circ$ ) oproti útku ( $0^\circ$ ), kde se velmi shodují s materiály z čisté bavlny. Je to opět zapříčiněno větší dostavou osnovních nití.



**Obrázek 28** Polární diagram úhlu zotavení materiálů Alpine Pro

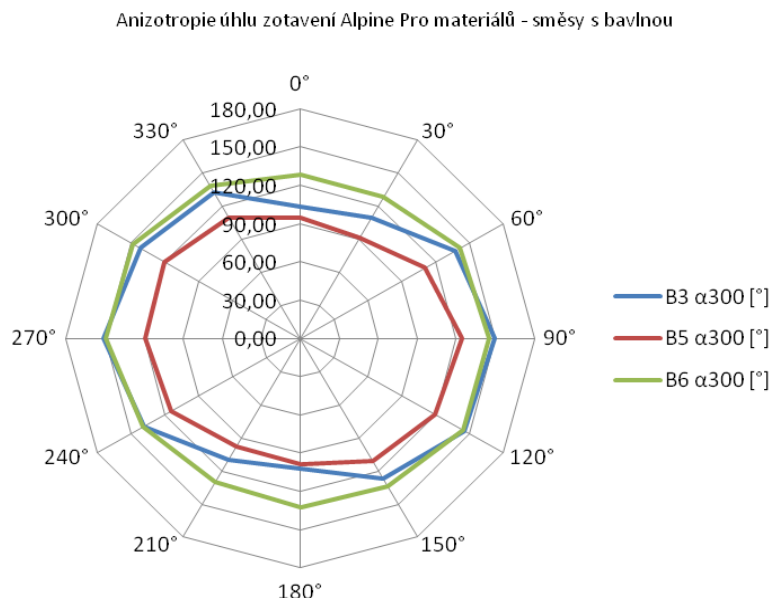
Na dalších dvou grafech je dále ukázána anizotropie všech sedmi materiálů firmy Alpine Pro. Ty jsou rozděleny do dvou grafů. V prvním grafu na obrázku 29 jsou Alpine Pro materiály, jejichž materiálové složení je čistá bavlna a v druhém grafu na obrázku 30 jsou Alpine Pro materiály, které jsou ve směsi s bavlnou.

V polárním diagramu na obrázku 29 je znatelné, že všechny materiály vykazují lepší zotavovací schopnost ve II. a IV. kvadrantu. Opět se zde projevuje větší mačkovost v útku oproti osnově s výjimkou materiálu B1.



**Obrázek 29 Polární diagram úhlu zotavení pro Alpine Pro materiály ze 100% CO**

V polárním diagramu na obrázku 30 lze vyčíst, že materiály B3 a B5 vykazují lepší relaxaci ve II. a IV. kvadrantu a opět se u nich projevuje větší mačkavost v útku oproti osnově stejně jako u materiálu B6. Materiál B3 je dle grafu méně mačkavý než materiál B5, což je pravděpodobně zapříčiněno větším podílem polyesterových vláken. Materiál B6 se oproti zbylým dvěma materiálům chová jako nejméně mačkavý, a to díky velkému procentu polyesterových vláken. Lze tedy konstatovat, že čím je větší podíl polyesterových vláken v textilií, tím se textilie lépe zotavuje po mačkání, což potvrzuje výsledky, které ve své práci popisují Perepelkin a Neklyudova (viz. řešeršní část), kteří zjistili, že mačkavost textilie je nepochybně závislá na materiálovém složení vlákna.



Obrázek 30 Polární diagram pro Alpine Pro materiály - směsi s bavlnou

### 3.5 Vícerozměrná statistická analýza úhlu zotavení

V této kapitole jsou zpracována data naměřená metodou úhlu zotavení, jejíž výsledky jsou zpracovány v předchozí kapitole. K vytvoření regresního modelu je kromě hodnot úhlu zotavení také použito dalších 7 veličin, jako je plošná hmotnost textilií, tloušťka textilie, ohybová tuhost, ohybový moment hystereze, smyková tuhost, smykový moment hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykový moment hystereze při smyku  $5^\circ$ . Hodnoty těchto veličin jsou uvedeny v tabulce 7, ty budou dále zpracovány vícerozměrnou statistickou analýzou.

Tabulka 7 Data pro vícerozměrnou statistickou analýzu

Označení	Vazba	Do [n/10cm]	Dú [n/10cm]	Mp [g/m <sup>2</sup> ]	h [mm]	B x 10 <sup>-4</sup> [Nm <sup>2</sup> /m]	2HB x 10 <sup>-2</sup> [Nm/m]	G [N/m-deg]	2HG [N/m]	2HG5 [N/m]	$\alpha_{300}$ [°]
B1	PLÁTNO	312	248	157,7	0,607	0,0365	0,0515	3,02	5,59	8,19	113,37
B2	PLÁTNO	382	243	114,6	0,553	0,0169	0,0213	1,16	2,66	4,22	113,14
B3	PLÁTNO	310	272	136,9	0,483	0,0347	0,0391	2,16	5,47	7,20	129,12
B4	PLÁTNO	378	245	115,0	0,517	0,0205	0,0235	1,06	1,96	3,46	123,03
B5	PLÁTNO	510	297	132,0	0,510	0,0189	0,0276	1,74	3,92	5,10	109,29
B6	PLÁTNO	420	267	133,9	0,447	0,0374	0,0356	1,92	4,84	7,30	138,66
B7	PLÁTNO	423	275	101,6	0,503	0,0146	0,0161	1,03	1,92	3,47	116,25
B8	PLÁTNO	600	500	99,0	0,390	0,0151	0,0124	0,59	1,46	2,17	120,38
B9	PLÁTNO	720	380	98,0	0,310	0,0123	0,0104	1,06	2,11	3,83	131,56
B10	PLÁTNO	600	460	133,0	0,380	0,0232	0,0221	1,17	2,95	4,27	133,26
B11	PLÁTNO	720	330	106,0	0,330	0,0190	0,0154	0,84	1,79	3,42	121,07
B12	PLÁTNO	262	238	155,6	0,450	0,0389	0,0354	3,07	5,03	7,05	127,75
B13	PLÁTNO	300	272	120,8	0,430	0,0241	0,0276	2,13	3,89	6,35	119,83
B16	PLÁTNO	223	177	128,8	0,440	0,0270	0,0390	2,20	4,66	8,50	99,60
B17	PLÁTNO	325	213	115,0	0,310	0,1385	0,1381	6,96	13,03	-15,67	99,62
B18	PLÁTNO	302	272	110,1	0,413	0,0202	0,0257	1,13	2,29	3,85	117,07
B19	PLÁTNO	267	245	156,4	0,433	0,0423	0,0495	3,90	7,10	8,68	117,80
B20	PLÁTNO	262	247	149,1	0,430	0,0435	0,0509	3,04	6,23	9,22	109,06
B21	PLÁTNO	440	268	98,3	0,357	0,0173	0,0191	1,20	2,35	4,32	119,03
B22	PLÁTNO	477	273	102,1	0,347	0,0204	0,0258	1,35	3,18	5,59	109,05
B23	KEPR 1/2	533	332	144,1	0,410	0,0230	0,0204	1,13	1,67	2,90	135,89
B24	PLÁTNO	372	237	67,4	0,273	0,0155	0,0117	0,66	1,00	2,59	151,89
B25	PLÁTNO	263	238	149,7	0,483	0,0720	0,0675	5,53	9,67	8,37	104,94
B26	PLÁTNO	330	253	115,4	0,367	0,0311	0,0347	3,27	5,73	8,61	103,62
B27	PLÁTNO	260	227	141,2	0,470	0,0567	0,0483	4,69	8,35	8,05	109,60
B28	PLÁTNO	422	337	75,8	0,367	0,0224	0,0197	1,63	3,15	5,78	110,33

Daný výběr materiálů je příliš velký co se týče rozsahu úhlů zotavení (99,60° - 151,89°). Pro takový rozsah je zapotřebí větší množství dat. Výběr materiálů proto musel být zredukovaný, a tak byly odstraněny některé materiály, které způsobovaly větší rozptýlení dat. Po odstranění těchto materiálů bylo dosaženo normálního rozdělení dat. Dále byly odstraněny dostava osnovy a dostava útku. V tabulce 8 je zobrazen vhodný výběr dvanácti materiálů.

Tabulka 8 Zredukována data pro vícerozměrnou analýzu

Označení	Mp [g/m <sup>2</sup> ]	h [mm]	B x 10 <sup>-4</sup> [Nm <sup>2</sup> /m]	2HB x 10 <sup>-2</sup> [Nm/m]	G [N/m·de]	2HG [N/m]	2HG5 [N/m]	α300 [°]
B2	114,6	0,553	0,0169	0,0213	1,16	2,66	4,22	113,14
B5	132,0	0,510	0,0189	0,0276	1,74	3,92	5,10	109,29
B7	101,6	0,503	0,0146	0,0161	1,03	1,92	3,47	116,25
B8	99,0	0,390	0,0151	0,0124	0,59	1,46	2,17	120,38
B18	110,1	0,413	0,0202	0,0257	1,13	2,29	3,85	117,07
B20	149,1	0,430	0,0435	0,0509	3,04	6,23	9,22	109,06
B21	98,3	0,357	0,0173	0,0191	1,20	2,35	4,32	119,03
B22	102,1	0,347	0,0204	0,0258	1,35	3,18	5,59	109,05
B25	149,7	0,483	0,0720	0,0675	5,53	9,67	8,37	104,94
B26	115,4	0,367	0,0311	0,0347	3,27	5,73	8,61	103,62
B27	141,2	0,470	0,0567	0,0483	4,69	8,35	8,05	109,60
B28	75,8	0,367	0,0224	0,0197	1,63	3,15	5,78	110,33

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty testu normality, kde testové kritérium vyjadřuje vypočtený test normality testovací statistikou, kritický kvantil  $\chi^2$  znázorňuje teoretický příslušný kvantil t-rozdělení a p-hodnota je pravděpodobnost odpovídající vypočtené statistice. Normalita byla u všech proměnných u vybraných materiálů přijata.

Tabulka 9 Test normality výběru dat

Test normality								
Sloupce	Mp	h	B	2HB	G	2HG	2HG5	alfa300
Normalita	Přijata	Přijata	Přijata	Přijata	Přijata	Přijata	Přijata	Přijata
Testové kritérium	0,137	0,436	4,960	3,455	3,609	2,991	0,251	0,193
Kritický kvantil $\chi^2$	5,991	5,991	5,991	5,991	5,991	5,991	5,991	5,991
p-hodnota	0,934	0,804	0,084	0,178	0,165	0,224	0,882	0,908

### 3.6 Korelační matice

Korelace zkoumá významnost mezi dvěma veličinami na testovací hladině  $p=0,05$ . Červeně vyznačené hodnoty dvou veličin v korelační matici (v tabulce 10) jsou významné. Pokud je korelace kladná (u korelačního koeficientu je znaménko plus), znamená to, že hodnoty obou veličin stoupají nebo klesají zároveň a pokud je korelace záporná (znaménko korelačního koeficientu je mínus), znamená to, že hodnota jedné veličiny klesá a hodnota druhé veličiny stoupá. Mezi úhlem zotavení a ohybovou tuhostí, ohybovým momentem hystereze, smykovou tuhostí, smykovým momentem hystereze při smyku 0,5° a smykovým momentem hystereze při smyku 5° je lineární závislost. Korelace mezi těmito veličinami a úhlem zotavení je záporná, což znamená, že pokud roste hodnota úhlu zotavení, pak hodnoty těchto veličin klesají. Největší hodnota korelace je mezi smykovým momentem hystereze při smyku 5° a úhlem



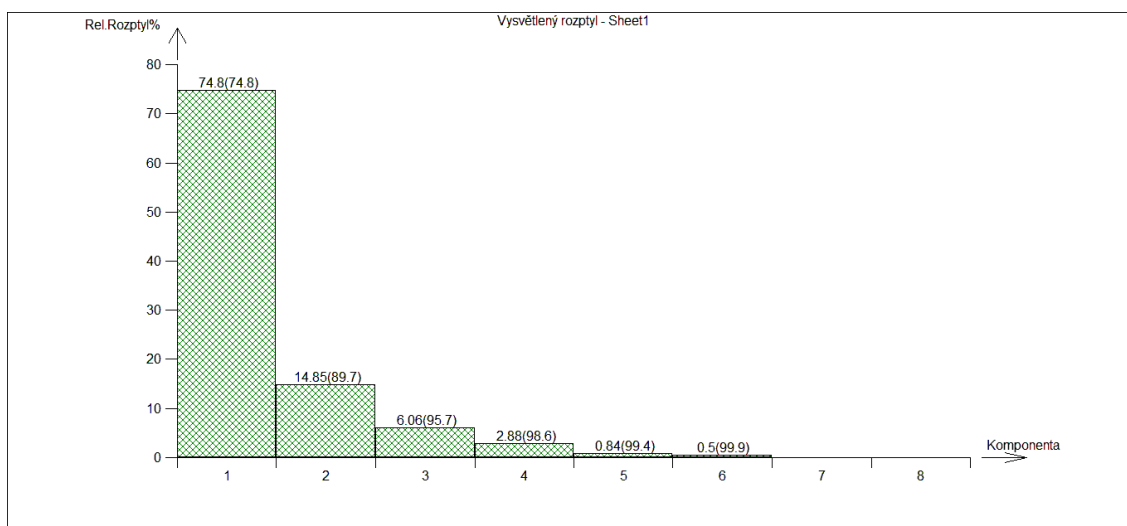
zotavení. Plošná hmotnost a tloušťka textilie nejsou lineárně závislé s úhlem zotavení, což znamená, že se při tvorbě regresního modelu s nimi nebude počítat. Dále lze sledovat vysoké hodnoty korelace mezi ohybovou tuhostí, ohybovým momentem hystereze, smykovou tuhostí, smykovým momentem hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykovým momentem hystereze při smyku  $5^\circ$  navzájem, kde jsou všechny korelace kladné, z čehož vyplývá, že pokud jedna z těchto proměnných roste, pak rostou i ostatní tyto mechanické vlastnosti. Jelikož jsou hodnoty korelací mezi těmito veličinami tak vysoké, pro tvorbu modelu je možné počítat pouze s jednou touto veličinou. Dále lze vidět vysokou lineární závislost mezi plošnou hmotností a všemi mechanickými vlastnostmi. Všechny tyto korelace jsou kladné. Tloušťka textilií nekoreluje s žádnou z proměnných. V tabulce 10 jsou také uvedeny hodnoty průměru a směrodatné odchylky. V příloze 4 jsou uvedeny grafy korelací.

Tabulka 10 Korelační matice vybraných materiálů

Korelační matice									Základní charakteristika	
Proměnná	Mp [g/m <sup>2</sup> ]	h [mm]	B x 10 <sup>-4</sup> [Nm <sup>2</sup> /m]	2HB x 10 <sup>-2</sup> [Nm/m]	G [N/m-deg]	2HG [N/m]	2HG5 [N/m]	$\alpha 300$ [°]	Průměr	Směr. odchylka
Mp [g/m <sup>2</sup> ]	1	0,493498	0,760525	0,854452	0,749397	0,793941	0,655751	-0,50648	115,742	22,918
h [mm]	0,493498	1	0,18208	0,211826	0,182118	0,200238	-0,03619	-0,06992	0,433	0,070
B x 10 <sup>-4</sup> [Nm <sup>2</sup> /m]	0,760525	0,18208	1	0,962395	0,972159	0,971019	0,791941	-0,62227	0,029	0,019
2HB x 10 <sup>-2</sup> [Nm/m]	0,854452	0,211826	0,962395	1	0,942076	0,961113	0,85191	-0,69894	0,031	0,017
G [N/m-deg]	0,749397	0,182118	0,972159	0,942076	1	0,993289	0,852166	-0,72999	2,197	1,584
2HG [N/m]	0,793941	0,200238	0,971019	0,961113	0,993289	1	0,875065	-0,75532	4,243	2,662
2HG5 [N/m]	0,655751	-0,03619	0,791941	0,85191	0,852166	0,875065	1	-0,85719	5,729	2,313
$\alpha 300$ [°]	-0,50648	-0,06992	-0,62227	-0,69894	-0,72999	-0,75532	-0,85719	1	111,813	5,373

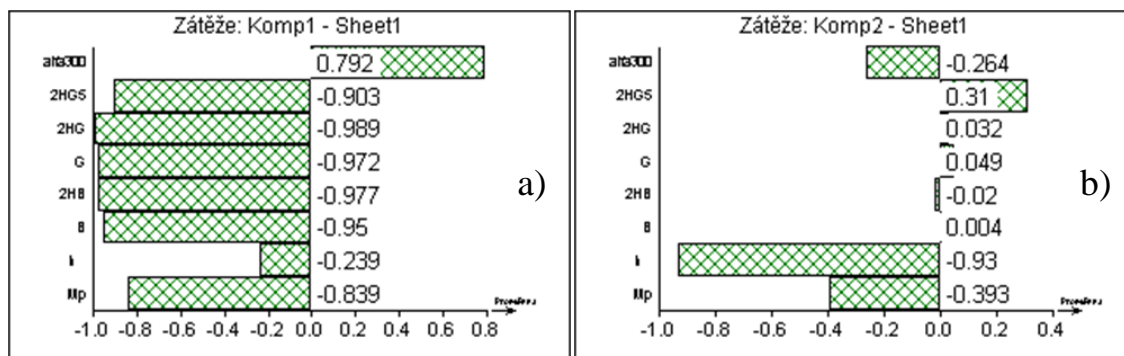
### 3.7 Analýza hlavních komponent

Analýza hlavních komponent je více popsána v řešeršní části v kapitole 2.2. Na obrázku 31 je zobrazen graf hlavních komponent pro data uvedená v tabulce 8. První 2 komponenty podávají o textiliích téměř 90% informace.



Obrázek 31 Graf vysvětlení rozptylu (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert )

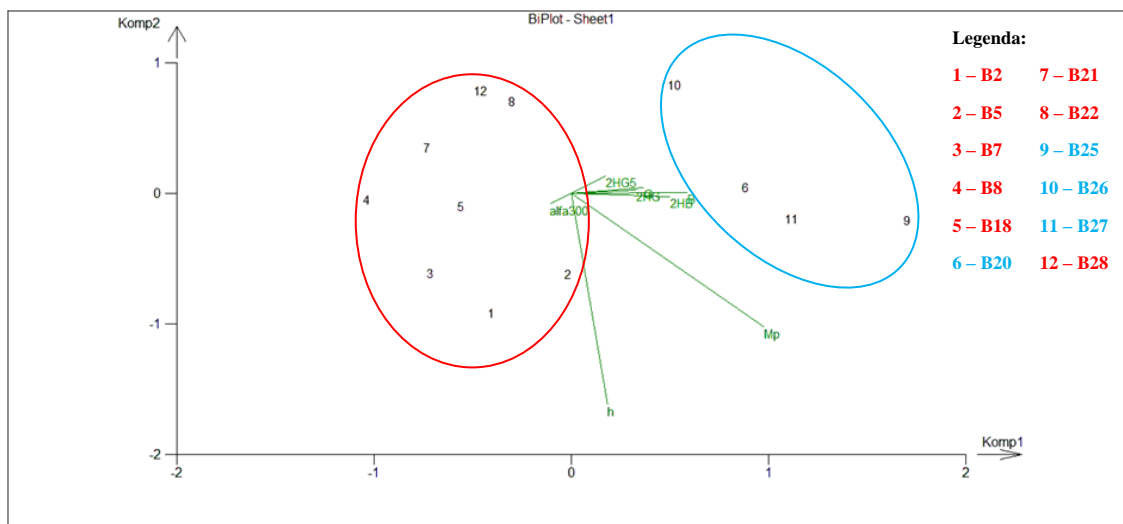
Dále jsou popsány a použity dvě komponenty. Na obrázku 32 jsou grafy prvních dvou komponent. Složení první komponenty ukazuje vztah mezi mechanickými vlastnostmi a plošnou hmotností. Velký podíl zde má i hodnota úhlu zotavení. Je zde vidět záporná lineární závislost mezi úhlem zotavení a mechanickými vlastnostmi. V druhé komponentě je zastoupena větším podílem tloušťka textilií a mechanické vlastnosti jsou zde zastoupeny podstatně méně než v první komponentě.



Obrázek 32 Grafy hlavních komponent: a) 1. hlavní komponenta; b) 2. hlavní komponenta (grafy byly zhotovené v softwaru QC Expert)

Na dalším obrázku 33 je zobrazen BiPlot, který vznikl v programu QC Expert. BiPlot neboli dvojný graf promítá vícerozměrná data do plochy. Body v grafu odpovídají řádkům a paprsky sloupcům. Čím je menší úhel mezi dvěma proměnnými, tím je korelace větší. Každá komponenta má své souřadnice na první a druhé komponentě. Čím je délka paprsku proměnné delší, tím je větší jeho komponentní váha. Když se v grafu nachází objekt blízko určité proměnné, je to známka toho, že v objektu je obsaženo hodně této proměnné. Na vzájemném působení objektů a proměnných lze

také vysvětlit umístění objektů na ose první hlavní komponenty pomocí pozice proměnných, zda jsou objekty vpravo nebo vlevo od nuly a na ose druhé hlavní komponenty, zda jsou umístěny nahoře nebo dole od nuly.



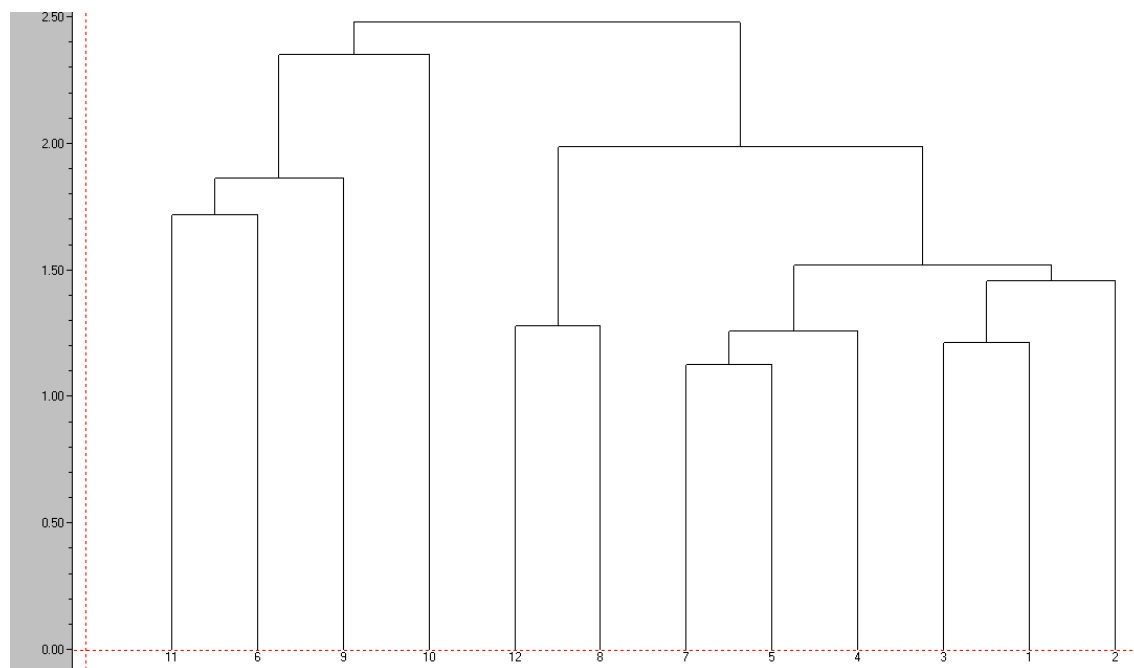
Obrázek 33 BiPlot (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

Z BiPlotu je patrné, že největší komponentní váhu má plošná hmotnost a tloušťka. Velmi silnou pozitivní korelaci vykazují mechanické vlastnosti. Také je zde patrná silná pozitivní korelace mezi mechanickými vlastnostmi s plošnou hmotností. Úhel zotavení  $\alpha$  tvoří negativní korelaci s mechanickými vlastnostmi. Závěry z korelační matice potvrzují tato tvrzení. Na grafu je také vidět, že materiály tvoří shluky.

### 3.8 Shluková analýza

Bližší popis shlukové analýzy je popsán v rešeršní části v kapitole 2.4. K posouzení struktury shluků ve vícerozměrném souboru slouží dendrogram na obrázku 34. Cílem dendrogramu je posoudit případný výskyt shluků, homogenitu souboru dat a jednotlivých vybočujících měření. Na podélné ose je měřítko vzdálenosti dendrogramu. Čím je větev dendrogramu delší, tím jsou data pod ní od ostatních vzdálenější a mají malou podobnost. Pro tvorbu dendrogramu byla použita euklidovská vzdálenost, která lze vyjádřit dle rovnice 26. Dendrogram byl vytvořen metodou nejbližšího souseda.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (26) [27]$$



Obrázek 34 Dendrogram (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)

Na dendrogramu lze pozorovat podobnost mezi materiály B18 (na grafu 5) a B21 (na grafu 7) a tvoří shluk 13. Dalšími velmi blízkými jsou si materiál B2 (na grafu 1) a B7 (na grafu 3) a tvoří shluk 14, dále materiál B8 (na grafu 4) s shlukem 13. Další podobnost lze sledovat mezi materiálem B22 (na grafu 8) a materiálem B28 (na grafu 12) tvořící shluk 16. Materiály B5 (na grafu 2) a shluk 14 tvoří shluk 17. Další shluky jsou popsány v tabulce 11, kde je uvedena i vzdálenost mezi objekty.

Tabulka 11 Výstup z dendrogramu o vzdálenosti objektů

Dendrogram			
Obj.1	Obj.2	Nový shluk	Vzdálenost
5 (B18)	7 (B21)	13	1,1278
1 (B2)	3 (B7)	14	1,2148
4 (B8)	shluk 13	15	1,2610
8 (B22)	12 (B28)	16	1,2809
2 (B5)	shluk 14	17	1,4595
shluk 17	shluk 15	18	1,5195
6 (B20)	11 (B27)	19	1,7212
9 (B25)	shluk 19	20	1,8658
shluk 18	shluk 16	21	1,9867
10 (B26)	shluk 20	22	2,3510
shluk 22	shluk 21	23	2,4801

### 3.9 Lineární regresní model pro predikci úhlu zotavení textilie

Pro tvorbu lineárního regresního modelu mačkovosti textilií budou použity pouze některé z nezávislých proměnných ( $M_p$ ,  $h$ ,  $B$ ,  $2HB$ ,  $G$ ,  $2HG$ ,  $2HG5$ ), pomocí kterých byla provedena korelace se závislou proměnnou  $\alpha_{300}$ . Z provedené korelace, lze určit, že z uvedených nezávislých proměnných lze pro tvorbu lineárního regresního modelu použít  **$B$ ,  $2HB$ ,  $G$ ,  $2HG$  a  $2HG5$** . Hodnoty těchto proměnných vykazovaly korelaci mezi hodnotou úhlu zotavení (závislou proměnnou)  $\alpha_{300}$ . Naopak mezi závislou proměnnou  $\alpha_{300}$  a nezávislými proměnnými  **$M_p$  a  $h$**  byla zjištěna nízká korelace. Také byla zjištěna vysoká hodnota korelace mezi hodnotami nezávisle proměnnými  **$B$ ,  $2HB$ ,  $G$ ,  $2HG$  a  $2HG5$**  navzájem, z čehož vyplývá, že pro tvorbu lineárního regresního modelu je možné použít pouze jednu z těchto proměnných. Pro tvorbu lineárního regresního modelu byl použit software QC Expert, kde byla zvolena metoda nejmenších čtverců.

Pro tvorbu lineárního regresního modelu byla použita data naměřená z 12 materiálů. K rozlišení mezi více navrženými modely poslouží střední kvadratická chyba predikce **MEP** a Akaikovo informační kritérium **AIC**, kde se za optimální model považuje ten, jehož hodnota **AIC** a **MEP** je minimální. Také koeficient determinace  **$R^2$**  poslouží pro hodnocení vhodného modelu, kde se za optimální považuje ten, jehož hodnoty  **$R^2$**  jsou maximální. Zde jsou uvedeny vzorce pro výpočet MEP (rovnice 27) a AIC (rovnice 28), které byly vypočteny pomocí softwaru QC Expert. Dále jsou modely hodnoceny podle průměrné chyby modelu (reziduálního rozdílu mezi naměřenými hodnotami úhlu zotavení a vypočítanými hodnotami úhlu zotavení).

$$MEP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{(1 - H_{ii})^2} \quad (27) [27]$$

Kde:  $e_i^2$  - čtverec reziduí modelu

$H_{ii}$  – i-tý diagonální prvek projekční matice  $H$

$$AIC = n \ln\left(\frac{RSC}{n}\right) + 2m \quad (28) [27]$$

Kde:  $RSC$  – reziduální součet čtverců

$M$  – počet parametrů

V tabulce 12 je zobrazeno 22 lineárních regresních modelů. Modely číslo 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16 a 17 vykazují multikolinearitu (v tabulce označeny šedými poli), to znamená, že mezi nezávislými proměnnými je patrná silná závislost. Tyto modely jsou proto nevhodné. Všechny tyto modely jsou významné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Podle koeficientu determinace  $R^2$ , v tabulce 13, lze říct, že model s největší predikční schopností je model číslo 8 a 12. Podle Akaikova informačního kritéria AIC dosahuje nejnižších hodnot model číslo 8. Nejvíce efektivním z hlediska reziduálního rozdílu mezi naměřenými hodnotami úhlu zotavení a vypočítanými hodnotami úhlu zotavení je model číslo 8 s chybou modelu 2,01%. Dle těchto předpokladů lze říct, že nejvhodnějším modelem je model číslo **8** (v tabulce označen oranžovým polem).

Tabulka 12 Návrhy lineárních regresních modelů, jejich konstanty a chyby modelů

Číslo modelu	Tvar modelu	Konstanty						Chyba modelu	
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	[°]	[%]
1.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_2 (2HB)_i + \alpha_3 G_i + \alpha_4 (2HG)_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	120,83	485,80	-86,74	-0,83	-3,05	-0,99	1,66	1,50
2.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_2 (2HB)_i$	119,56	197,08	-438,40	–	–	–	2,90	2,60
3.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_3 G_i + \alpha_4 (2HG)_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	123,47	–	–	1,68	-1,10	-1,86	2,35	2,12
4.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_3 G_i + \alpha_4 (2HG)_i$	119,88	–	–	5,14	-4,56	–	2,68	2,42
5.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_3 G_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	<b>123,23</b>	–	–	<b>0,01</b>	–	<b>-2,00</b>	<b>2,33</b>	<b>2,10</b>
6.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_4 (2HG)_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	120,93	422,61	–	–	-3,55	-1,11	1,66	1,49
7.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_4 (2HG)_i$	118,12	561,75	–	–	-5,34	–	1,86	1,68
8.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	<b>123,55</b>	<b>43,80</b>	–	–	–	<b>-2,27</b>	<b>2,23</b>	<b>2,01</b>
9.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_2 (2HB)_i + \alpha_3 G_i$	<b>117,55</b>	–	<b>-32,28</b>	<b>-2,16</b>	–	–	<b>3,11</b>	<b>2,79</b>
10.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_2 (2HB)_i + \alpha_4 (2HG)_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	122,47	–	154,15	–	-0,93	-2,00	2,19	1,97
11.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_2 (2HB)_i + \alpha_4 (2HG)_i$	117,67	–	114,52	–	-2,21	–	2,86	2,57
12.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_2 (2HB)_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	<b>123,38</b>	–	<b>36,91</b>	–	–	<b>-2,22</b>	<b>2,28</b>	<b>2,05</b>
13.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_4 (2HG)_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	<b>123,16</b>	–	–	–	<b>-0,05</b>	<b>-1,95</b>	<b>2,34</b>	<b>2,10</b>
14.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_3 G_i$	115,42	459,47	–	-7,73	–	–	2,51	2,23
15.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_2 (2HB)_i + \alpha_3 G_i$	117,70	745,36	-377,70	-7,26	–	–	1,83	1,62
16.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_3 G_i + \alpha_4 (2HG)_i$	118,58	544,95	–	1,47	-6,10	–	1,88	1,70
17.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_3 G_i + \alpha_5 (2HG5)_i$	120,90	323,36	–	-4,12	–	-1,65	1,92	1,73
18.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i$	<b>117,04</b>	<b>-179,62</b>	–	–	–	–	<b>3,37</b>	<b>3,01</b>
19.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_2 (2HB)_i$	<b>118,76</b>	–	<b>-225,97</b>	–	–	–	<b>3,20</b>	<b>2,88</b>
20.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_3 G_i$	<b>117,25</b>	–	–	<b>-2,48</b>	–	–	<b>3,14</b>	<b>2,81</b>
21.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_4 (2HG)_i$	<b>118,28</b>	–	–	–	<b>-1,52</b>	–	<b>2,93</b>	<b>2,63</b>
22.	$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_5 (2HG5)_i$	<b>123,22</b>	–	–	–	–	<b>-1,99</b>	<b>2,34</b>	<b>2,10</b>

V tabulce 13 jsou zobrazeny hodnoty vícenásobného korelačního koeficientu **R**, koeficientu determinace **R<sup>2</sup>**, predikovaného korelačního koeficientu **R<sub>p</sub>**, hodnoty střední kvadratické chyby predikce **MEP** a Akaikova informačního kritéria **AIC** a to pro všech 22 modelů.

Tabulka 13 Statistické charakteristiky regrese

Číslo modelu	R	R <sup>2</sup>	R <sub>p</sub>	MEP	AIC
1.	0,91	0,83	0,02	30,48	30,09
2.	0,72	0,52	0,07	19,51	36,43
3.	0,86	0,74	0,02	22,99	31,24
4.	0,78	0,60	0,11	17,59	34,28
5.	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	<b>0,19</b>	<b>14,90</b>	<b>29,38</b>
6.	0,91	0,83	0,21	14,30	26,27
7.	0,89	0,79	0,34	10,99	26,76
8.	<b>0,86</b>	<b>0,74</b>	<b>0,14</b>	<b>16,55</b>	<b>28,99</b>
9.	<b>0,73</b>	<b>0,53</b>	<b>0,04</b>	<b>21,32</b>	<b>36,15</b>
10.	0,87	0,75	0,01	23,26	30,57
11.	0,76	0,58	0,03	22,06	34,90
12.	<b>0,86</b>	<b>0,74</b>	<b>0,16</b>	<b>15,81</b>	<b>29,22</b>
13.	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	<b>0,23</b>	<b>13,73</b>	<b>29,38</b>
14.	0,82	0,67	0,23	13,69	31,93
15.	0,88	0,77	0,38	10,05	29,59
16.	0,89	0,79	0,23	13,83	28,63
17.	0,89	0,80	0,10	17,95	28,14
18.	<b>0,62</b>	<b>0,39</b>	<b>0,04</b>	<b>21,02</b>	<b>37,43</b>
19.	<b>0,70</b>	<b>0,49</b>	<b>0,10</b>	<b>17,96</b>	<b>35,27</b>
20.	<b>0,73</b>	<b>0,53</b>	<b>0,11</b>	<b>17,58</b>	<b>34,18</b>
21.	<b>0,76</b>	<b>0,57</b>	<b>0,15</b>	<b>16,14</b>	<b>33,17</b>
22.	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	<b>0,37</b>	<b>10,36</b>	<b>27,38</b>

Pro predikci hodnot úhlu zotavení mačkovosti textilií byl vybrán z výše navrhovaných modelů, model číslo 8, jehož tvar je vyjádřen rovnicí 29. Pro jeho výpočet je nutné znát hodnoty nezávisle proměnné, což je ohybová tuhost a smykový moment hystereze při smyku 5°.

$$\bar{y} = \alpha_0 + \alpha_1 B_i + \alpha_5 (2HG5)_i \quad (29)$$

Kde:  $\alpha_0 = 123,55$

$\alpha_1 = 43,80$

$\alpha_5 = -2,27$



Na základě rešeršní části této práce byl vybrán model číslo 8, který je z výše navržených 22 modelů nejvhodnější pro predikci hodnot úhlu zotavení. Pro zpracování dat, které pomohly k tvorbě lineárního regresního modelu, byl použit software QC Expert. Vzhledem k malému počtu materiálů není model až tak přesný. Pro vytvoření přesnějšího lineárního regresního modelu je zapotřebí použít větší množství naměřených dat a další charakteristiky (nezávisle proměnné), jako jsou jemnosti osnovních a útkových nití.

## Závěr

Hlavním cílem té to práce bylo navržení lineárního regresního modelu pro predikci hodnot úhlu zotavení, pro jehož tvorbu bylo zapotřebí nastudovat a provést vícerozměrnou analýzu dat. Nejprve bylo nutné pro tvorbu lineárního regresního modelu vybrat nezávisle proměnné. V rešeršní práci je popsáno měření úhlu zotavení, které charakterizuje mačkavost textilií. V této práci byl úhel zotavení měřen inovativní metodou snímáním pomocí webové kamery, jejíž výsledky jsou zaznamenány pomocí polárních diagramů, kde je vidět, jak se mění mačkavost textilií vzhledem ke změně směru odběru vzorku. Data naměřená pomocí této metody jsou dále zpracována pro tvorbu lineárního regresního modelu.

Práce se také věnuje jednorozměrné statistické analýze dat, kde byly zjišťovány základní informace o naměřených datech úhlu zotavení. Bylo zjištěno, že materiál s nejmenší mačkavostí je B24, jehož průměrná hodnota úhlu zotavení v páté minutě po odlehčení vzorku byla  $151,89^\circ$ . Naopak největší mačkavostí se vyznačoval materiál B16, který má průměrný úhel zotavení  $99,60^\circ$  v páté minutě po odlehčení vzorku spolu s materiálem B17, jehož úhel zotavení v páté minutě po odlehčení vzorku byl  $99,62^\circ$ . Byly zde také vyšetřovány základní předpoklady o datech, jako je normalita, homogenita a nezávislost dat. U všech zkoumaných materiálů normalita a homogenita nebyla zamítnuta. Z testu nezávislosti dat v souboru vyplynulo, že naměřená data jsou na sobě závislá, což je zapříčiněno způsobem, jakým byly vzorky měřeny. Data úhlu zotavení každého vzorku byla měřena na šesti vzorcích stejného směru odebírání vzorku a následně seřazena pod sebe.

Další část práce byla věnována anizotropii mačkavosti textilií, která byla měřena na polárních diagramech. Z těch vyplynulo, že čím je větší podíl polyesterových vláken v textilií, tím se textilie lépe zotavuje po mačkání. Z polárních diagramů byl také patrný vliv dostavy osnovy a útku, který ukázal, že čím je větší dostava osnovních a útkových nití, tím je má textilie větší zotavovací schopnost.

Pro tvorbu lineárního regresního modelu měl daný výběr materiálů příliš velký rozsah hodnot úhlu zotavení, v němž byla data hodně rozptýlena. Pro takový rozsah by bylo zapotřebí větší množství dat. Výběr materiálů proto musel být zredukovaný. Byly odstraněny některé materiály, které způsobovaly větší rozptýlení dat. Pro tvorbu modelu byly vybrány tyto proměnné: plošná hmotnost, tloušťka textilie, ohybová tuhost,

ohybový moment hystereze, smyková tuhost, smykový moment hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykový moment hystereze při smyku  $5^\circ$ . Dále následovalo posouzení vhodnosti těchto proměnných pro tvorbu lineárního regresního modelu pomocí korelační matice, kde se ukázalo, že významné korelace s úhlem zotavení má ohybová tuhost, ohybový moment hystereze, smyková tuhost, smykový moment hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykový moment hystereze při smyku  $5^\circ$ . Plošná hmotnost a tloušťka textilie vykazovala velmi slabou korelaci s úhlem zotavení, proto nebyly dále použity pro tvorbu modelu. Vysoká korelace byla také prokázána mezi mechanickými vlastnostmi (B, 2HB, G, 2HG, 2HG5) navzájem. Jelikož byly hodnoty korelací mezi těmito veličinami vysoké, je možné pro tvorbu modelu počítat pouze s jednou touto veličinou, protože by mohla navržené modely vykazovat multikolinearitu. Bylo navrženo 22 modelů, z nichž 12 vykazovalo právě zmíněnou multikolinearitu. Ze zbylých deseti byl jako nejvhodnější pro daná data vybrán model s největší predikční schopností a nejmenší chybou modelu. Tento model využívá jako nezávislé proměnné ohybovou tuhost a smykový moment hystereze při smyku  $5^\circ$ .

Pomocí uvedeného navrženého lineárního regresního modelu lze ze 74% předpovědět hodnoty úhlu zotavení pro vybranou skupinu bavlněných materiálů. Pro vytvoření přesnějšího lineárního regresního modelu je zapotřebí použít větší množství naměřených dat.

## Literatura

- [1] FRIDRICHOVÁ, L., ZELOVÁ, K. Objective evaluation of multidirectional fabric creasing. *Journal of the Textile Institute*. 2011, č. 8, s. 719-725.
- [2] STANĚK, J. *Nauka o textilních materiálech Díl I., část 4.: Vlastnosti délkových a plošných textilií*. Liberec: VŠST, 1988.
- [3] KOVAČIČ, V. *Kapitoly z textilního zkušebnictví*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-823-X.
- [4] ZELOVÁ, K. K problematice mačkovosti plošných textilií. *SVOČ*. Liberec. 2009, roč. 4.
- [5] MERATI, A., PATIR, H. Anisotropy in wrinkle properties of woven fabric. *Journal of the Textile Institute*. 2011.
- [6] PEREPELKIN, K. E., NEKLYUDOVA, S. A., SMIRNOVA, N. A. Anisotropy of wrinkling of polyester, polyester-linen, and linen fabric. *Materials science*. 2000, č. 6.
- [7] Mačkovost. In: *Texsite.info: Textilní výkladový slovník* [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://cz.texsite.info/Ma%C4%8Dkovost>
- [8] Přírodní vlákna. In: *Outdoor guide* [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.outdoorguide.cz/prirodni-vlakna-45.html>
- [9] ČSN EN 22313 (80 0820). *Plošné textilie, zjišťování mačkovosti: Schopnost zotavení horizontálně složeného vzorku měřením úhlu zotavení*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [10] ČSN 80 0819 (EN 31092). *Zkoušení mačkovosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Zrušená norma. Platnost ukončena v červnu 1994.
- [11] HEJDOVÁ, P. *Predikce tvarové stálosti plošných textilií*. Liberec, 2012. Diplomová práce. Technická Univerzita v Liberci.
- [12] KUPKA, K. *Vícerozměrná analýza, regrese a prediktivní metody*. Pardubice: Výzkumné centrum pro jakost a spolehlivost - CQR, 2007. 105 s.
- [13] MELOUN, M. Statistická analýza jednorozměrných dat. [online]. [cit. 2013-4-3]. Dostupné z: [http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace\\_05\\_1101\\_2\\_2-3.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_05_1101_2_2-3.pdf)

- [14] HEBÁK, P., KOZÁK, J. *Regrese - Vícerozměrné statistické metody I.*. Praha: VŠE, 1988.
- [15] MELOUN, M., MILITKÝ, J., HILL, M. *Statistická analýza vícerozměrných dat v příkladech*. Praha: Academia, 2012. ISBN 978-80-200-2071-0.
- [16] ZICHOVÁ, J. *Plánování experimentů a predikční vícerozměrná analýza*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2007. ISBN 978-80-246-1407-6.
- [17] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1396-2.
- [18] MIHAILOVIC, T. V. Complex estimation of bending elasticity of hemp woven fabric after washing treatment. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2006, č. 2, s. 70-82.
- [19] MATSUDAIRA, M., NAKANO, K., YAMAZAKI, Y., HAYASHI, Y., HAYASHI, O. Effects of weave density, yarn twist and yarn count on fabric handle of polyester woven fabrics by objective evaluation method. *The Journal of The Textile Institute*. 2009, č. 3, 265–274.
- [20] LYNE, DR. R. R., LAKO, J., VEER, L. S. The Assessment of Crease-Resistance and Crease-Recovery. *Journal of the Textile Institute Proceedings*. 1962, č. 1, s. 99-115.
- [21] MOUSAZADEGAN, F., SAHARKHIZ, S., MAROUFI, M. Weight reduction of microfibre polyester fabric and the effect on its physical and mechanical properties. *Journal of the Textile Institute*. 2010, č. 8, s. 716-728.
- [22] SHINOHARA, A., GO, Y. Anisotropy of the Crease Recovery of Textile Fabrics. Shinshu University.
- [23] FRIDRICHOVÁ, L., ZELOVÁ, K., KNÍŽEK, R. Influence of Structure of Material on Properties of Bending Rigidity and Creasing in Different Directions. *American Scientific Publishers*. 2012.
- [24] *Textilní zkušebnictví část V.: Zkoušení délkových a plošných textilií* [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: [http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20120424/zkt6\\_11.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20120424/zkt6_11.pdf)
- [25] *B-TEX Laboratory Engineering: Crease Recovery Tester* [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <https://www.textiletestingequipment.com/instrument-4/Fabric-Garment-Testing-Instruments/crease-recovery-tester.aspx>

[26] KES KATO TECH CO.,LTD: *Product Guide* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://english.keskato.co.jp/products/>

[27] KUPKA, K. *TriloByte statistical software. QC.Expert 3.3: Uživatelský manuál*. 2012.

[28] ZELOVÁ, K. Rukopis disertační práce 2012.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Průběh deformace po odlehčení vzorku dle [2, 3] .....	11
Obrázek 2 Tvarovací čelisti tvaru "v" dle [22] .....	13
Obrázek 3 Metoda skládaného proužku dle [2, 3] .....	15
Obrázek 4 Metoda dutého válce dle [2] .....	16
Obrázek 5 Dutý válec dle [24] .....	16
Obrázek 6 Zařízení pro měření úhlu zotavení dle [2] .....	17
Obrázek 7 Stříšková metoda dle [2] .....	17
Obrázek 8 Způsob odběru vzorku dle normy ČSN EN 22313 (80 0820) .....	18
Obrázek 9 Crease recovery tester dle [25] .....	18
Obrázek 10 Odběr vzorků dle normy ČSN 80 0819 (EN 31092) .....	19
Obrázek 11 KES FB1 dle [26] .....	29
Obrázek 12 KES FB2 [26] .....	29
Obrázek 13 KES FB3 dle [26] .....	30
Obrázek 14 Odběr vzorků .....	31
Obrázek 15 Měřicí zařízení .....	32
Obrázek 16 Krabicový graf hodnot úhlu zotavení v 300s (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	36
Obrázek 17 Krabicový graf hodnot úhlu zotavení v 1s (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	37
Obrázek 18 Histogram pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	38

Obrázek 19 Q-Q graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	38
Obrázek 20 Diagram rozptýlení pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	39
Obrázek 21 Odhad hustoty pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert)	40
Obrázek 22 Kvantilový graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	40
Obrázek 23 Graf rozptýlení s kvantily pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	41
Obrázek 24 Graf polosum pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert).	42
Obrázek 25 P-P graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	42
Obrázek 26 Kruhový graf pro materiál B1 (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .	43
Obrázek 27 Polární diagram úhlu zotavení pro tři skupiny materiálů .....	47
Obrázek 28 Polární diagram úhlu zotavení materiálů Alpine Pro .....	48
Obrázek 29 Polární diagram úhlu zotavení pro Alpine Pro materiály ze 100% CO .....	49
Obrázek 30 Polární diagram pro Alpine Pro materiály - směsi s bavlnou .....	50
Obrázek 31 Graf vysvětlení rozptylu (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert ) .....	54
Obrázek 32 Grafy hlavních komponent: a) 1. hlavní komponenta; b) 2. hlavní komponenta (grafy byly zhotovené v softwaru QC Expert) .....	54
Obrázek 33 BiPlot (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	55
Obrázek 34 Dendrogram (graf byl zhotoven v softwaru QC Expert) .....	56

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Charakteristika materiálů .....	28
Tabulka 2 Data získaná pomocí softwaru QC Expert pro $\alpha_{300}$ .....	34
Tabulka 3 Data získaná pomocí softwaru QC Expert pro $\alpha_1$ .....	35
Tabulka 4 Autokorelační koeficienty materiálů B1-B28 .....	44
Tabulka 5 Spodní a horní mez materiálu B1-B28 .....	45

Tabulka 6 Test normality materiálu B1-B28 .....	46
Tabulka 7 Data pro vícerozměrnou statistickou analýzu.....	51
Tabulka 8 Zredukována data pro vícerozměrnou analýzu.....	52
Tabulka 9 Test normality výběru dat.....	52
Tabulka 10 Korelační matice vybraných materiálů .....	53
Tabulka 11 Výstup z dendrogramu o vzdálenosti objektů .....	56
Tabulka 12 Návrhy lineárních regresních modelů, jejich konstanty a chyby modelů....	59
Tabulka 13 Statistické charakteristiky regrese .....	60

## Seznam příloh

**Příloha č.1:** Charakteristika naměřených hodnot jednorozměrné analýzy dat

**Příloha č. 2:** Grafy k jednorozměrné analýze dat

**Příloha č.3:** Polární diagramy

**Příloha č.4:** Korelace



## **PŘÍLOHY**

**Příloha č.1: Charakteristika naměřených hodnot jednorozměrné analýzy dat**

Základní charakteristikou je aritmetický průměr, jehož výpočet je uveden v rovnici 30. Aritmetický průměr je odhadem střední hodnoty  $E(x)$ . Největší průměrné hodnoty úhlu zotavení vykazovaly materiály B24, což je materiál s nejmenší plošnou hmotností. A nejmenší úhel zotavení vykazoval materiál B16 a B17.

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (30) [17]$$

Další charakteristikou je rozptyl, což je míra rozptýlení měřící současně rozptýlení všech prvků kolem střední hodnoty. Je definován jako druhý centrální moment a jeho vztah je uveden v rovnici 31. Jeho odhadem je výběrový rozptyl uveden v rovnici 32. Směrodatná odchylka se vypočítá jako druhá mocnina z rozptylu. Největší rozptyl vykazuje materiál B3.

$$\text{var } X = E(X - EX)^2 \quad (31) [17]$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2 \quad (32) [17]$$

Šikmost ( $g_1$ ) je třetí normovaný centrální moment a špičatost ( $g_2$ ) je čtvrtý normovaný centrální moment. Jsou to momentové charakteristiky tvaru poskytující informace o tvaru rozdělení. **Šikmost** představuje odchylku od střední hodnoty. Šikmost nabývá kladné i záporné hodnoty a nulové hodnoty nabývá v případě, že jsou hodnoty náhodné veličiny rozděleny napravo i nalevo od střední hodnoty a také v případě normálního rozdělení. Šikmost nabývá kladných hodnot v případě, když se odlehlejší hodnoty vyskytují vpravo od střední hodnoty a záporné, když se odlehlejší hodnoty vyskytují vlevo od střední hodnoty. Momentový odhad šikmosti je uveden v rovnici 33. **Špičatost** představuje uspořádání hodnot náhodné veličiny kolem střední hodnoty. Je-li špičatost kladná, většina hodnot je soustředěna kolem střední hodnoty a je-li záporná, hodnoty jsou rozmístěny více rovnoměrně. Čím větší je tedy hodnota špičatosti, tím více se hodnoty soustředí kolem střední hodnoty. Pro normální rozdělení se špičatost rovná 3. Momentový odhad špičatosti je uveden v rovnici 34. U materiálu B10 byla podle programu QC Expert vyznačena nejvýznamnější špičatost hodnot náhodné veličiny.

$$\hat{g}_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (33) [17]$$

$$\hat{\sigma}_2^2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{s^4} \quad (34) [17]$$

Modus je definován jako lokální maximum pravděpodobnostní funkce. V diskrétním rozdělení je modus nejčastěji se vyskytující hodnota.

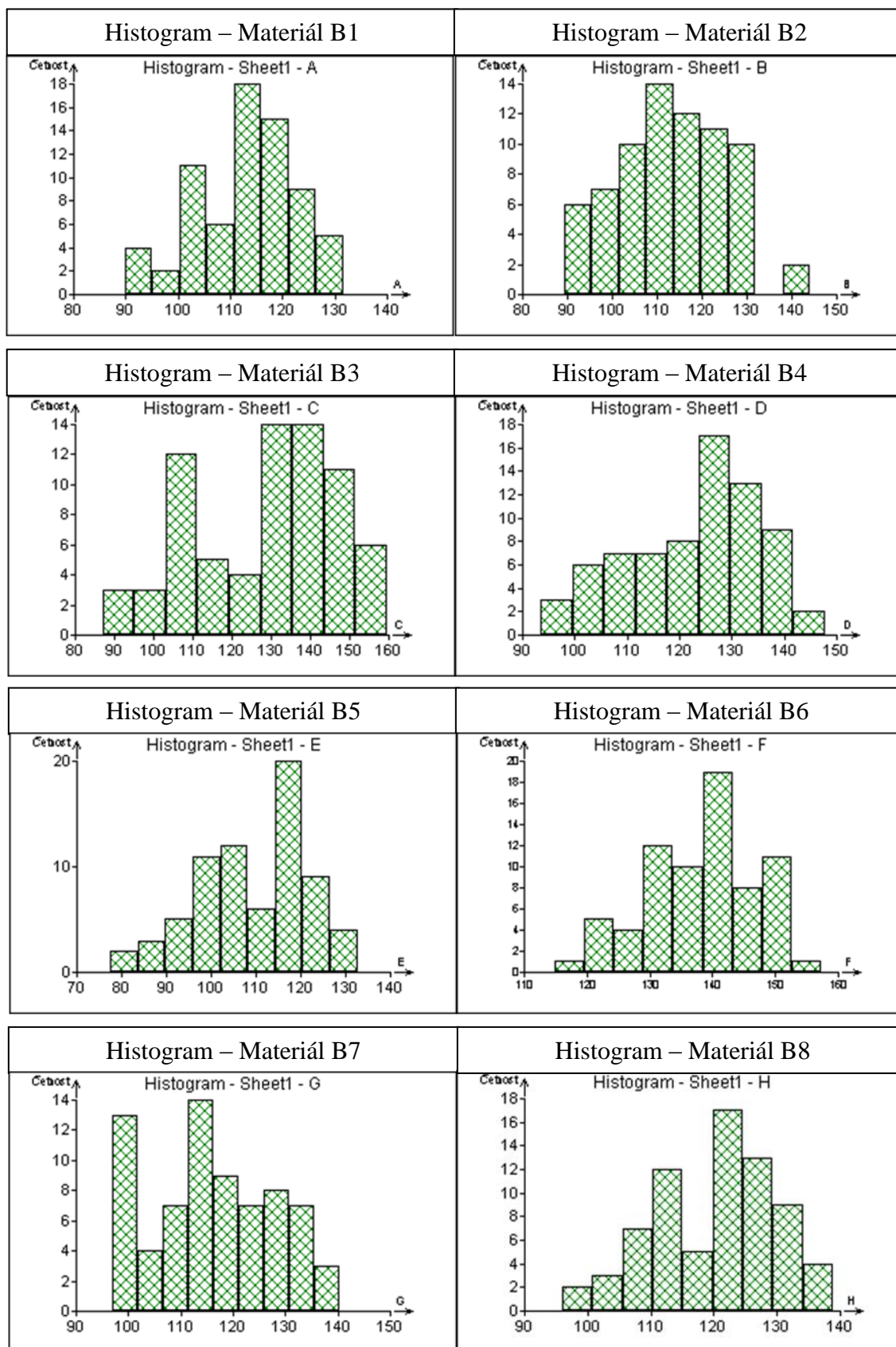
Medián představuje prostřední kvantil, který rozděluje výběr prvků na dvě stejné části obsahující 50% prvků. Medián lze vyjádřit vztahem 35.

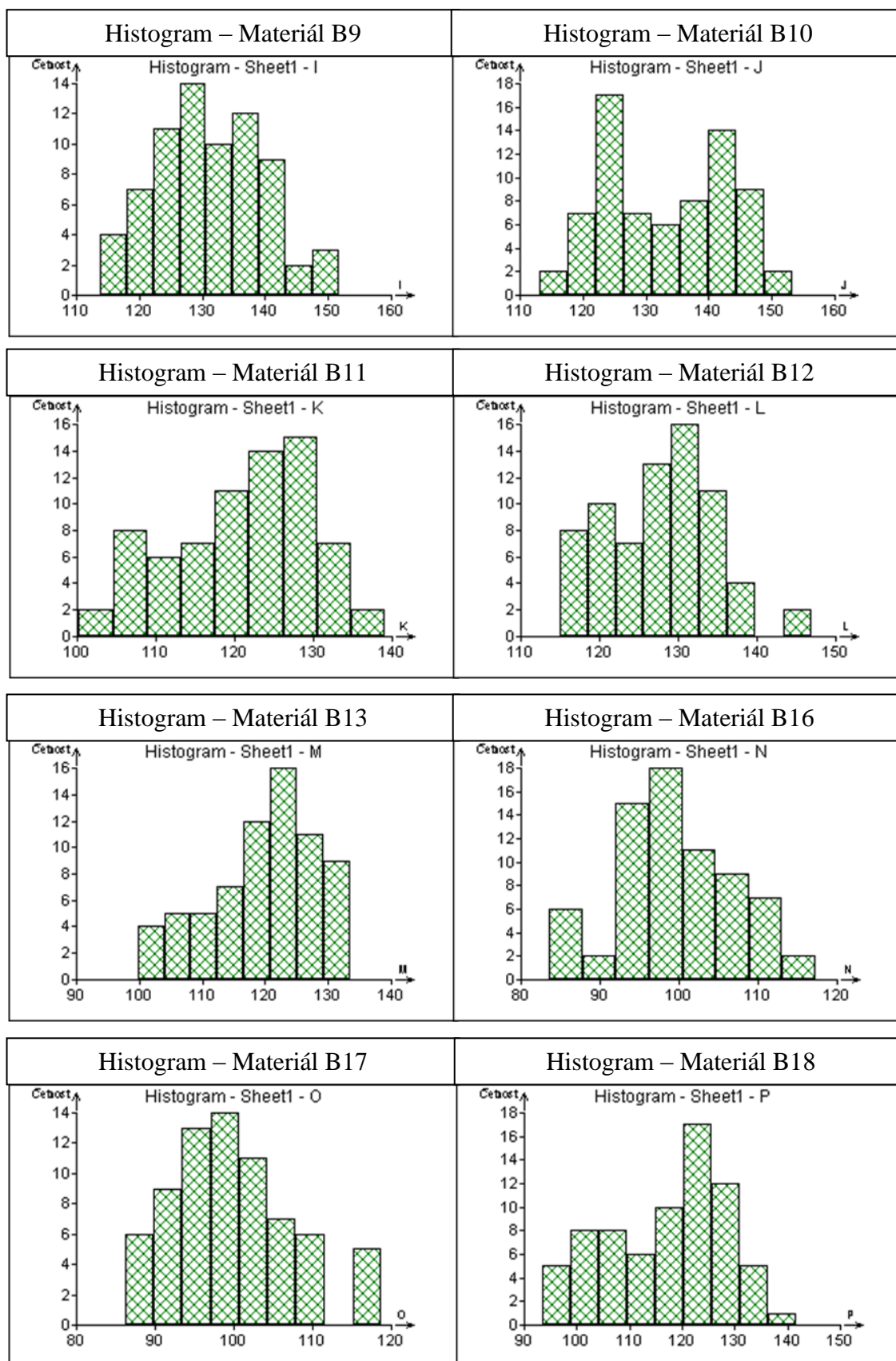
$$\tilde{X} = \frac{X_{\frac{n+1}{2}}}{2} \quad (35) [17]$$

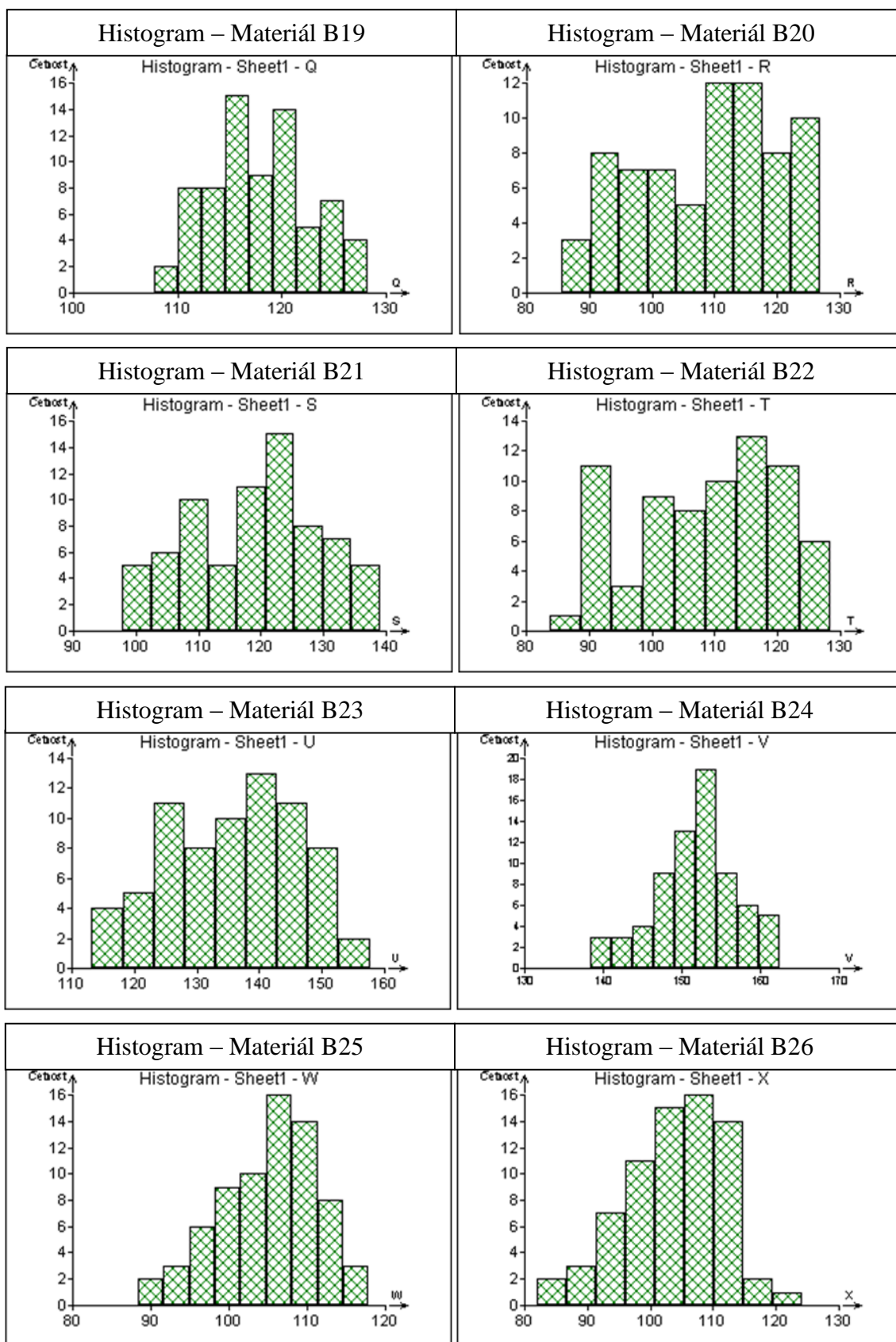
Variační koeficient je míra relativního rozptýlení vyjádřená v procentech a lze ji vyjádřit vztahem 36.

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (36) [17]$$

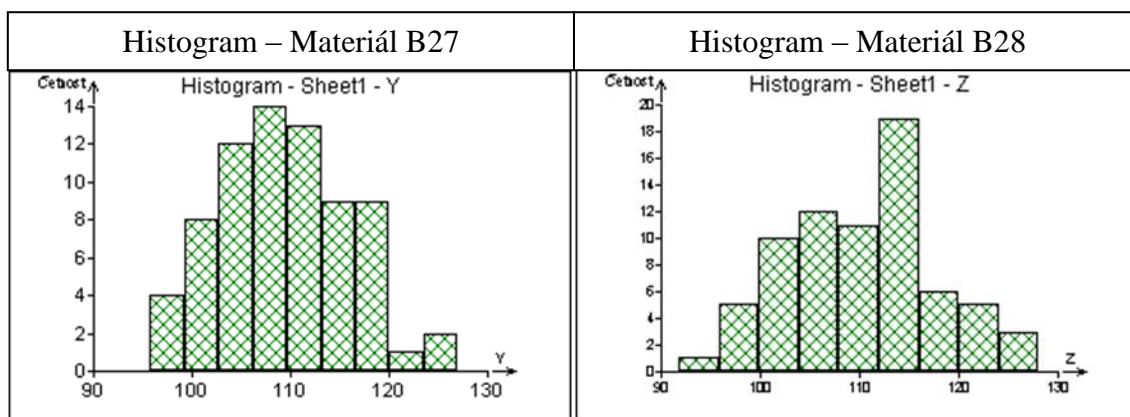
## Příloha č. 2: Grafy k jednorozměrné analýze dat

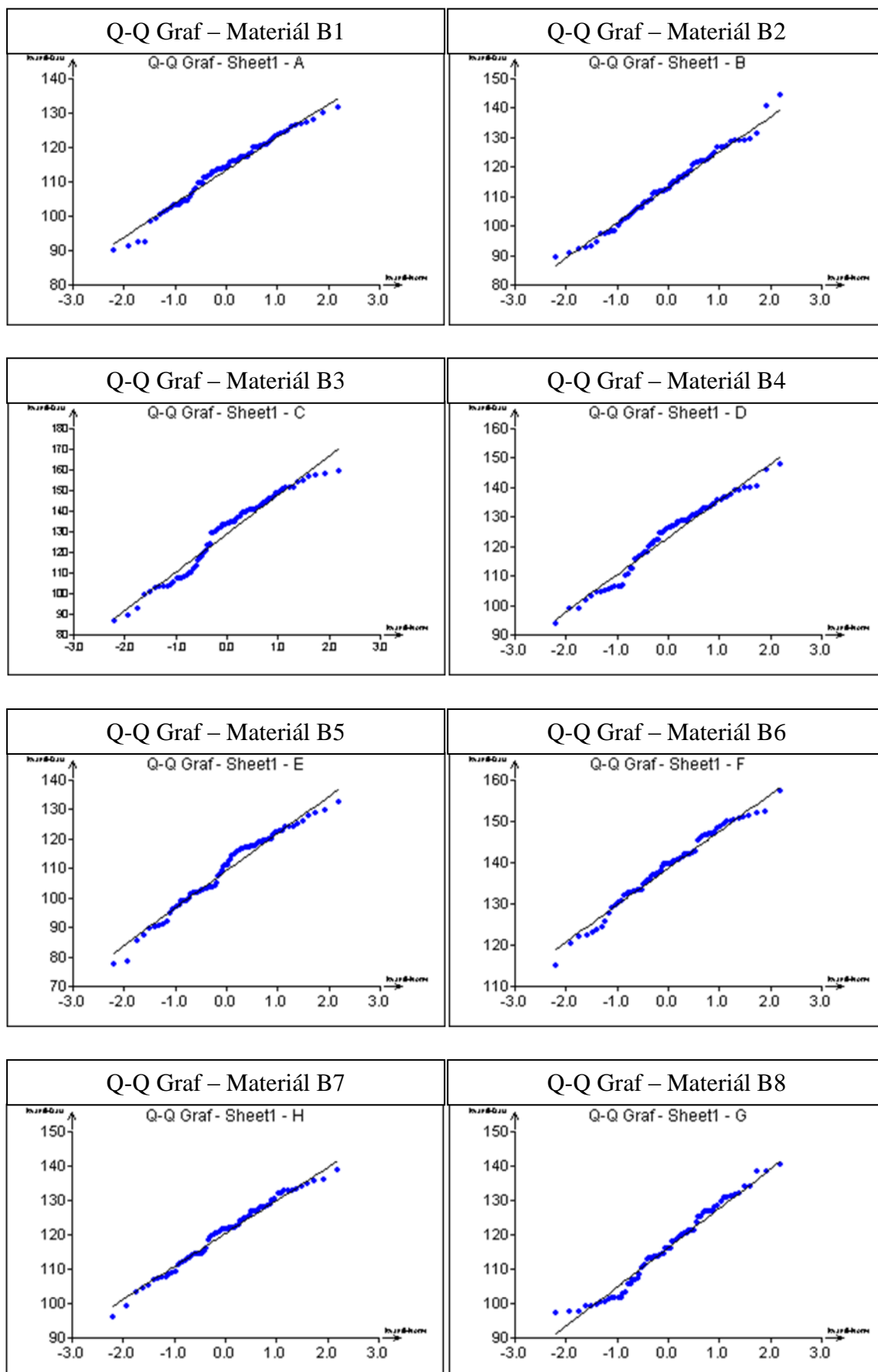




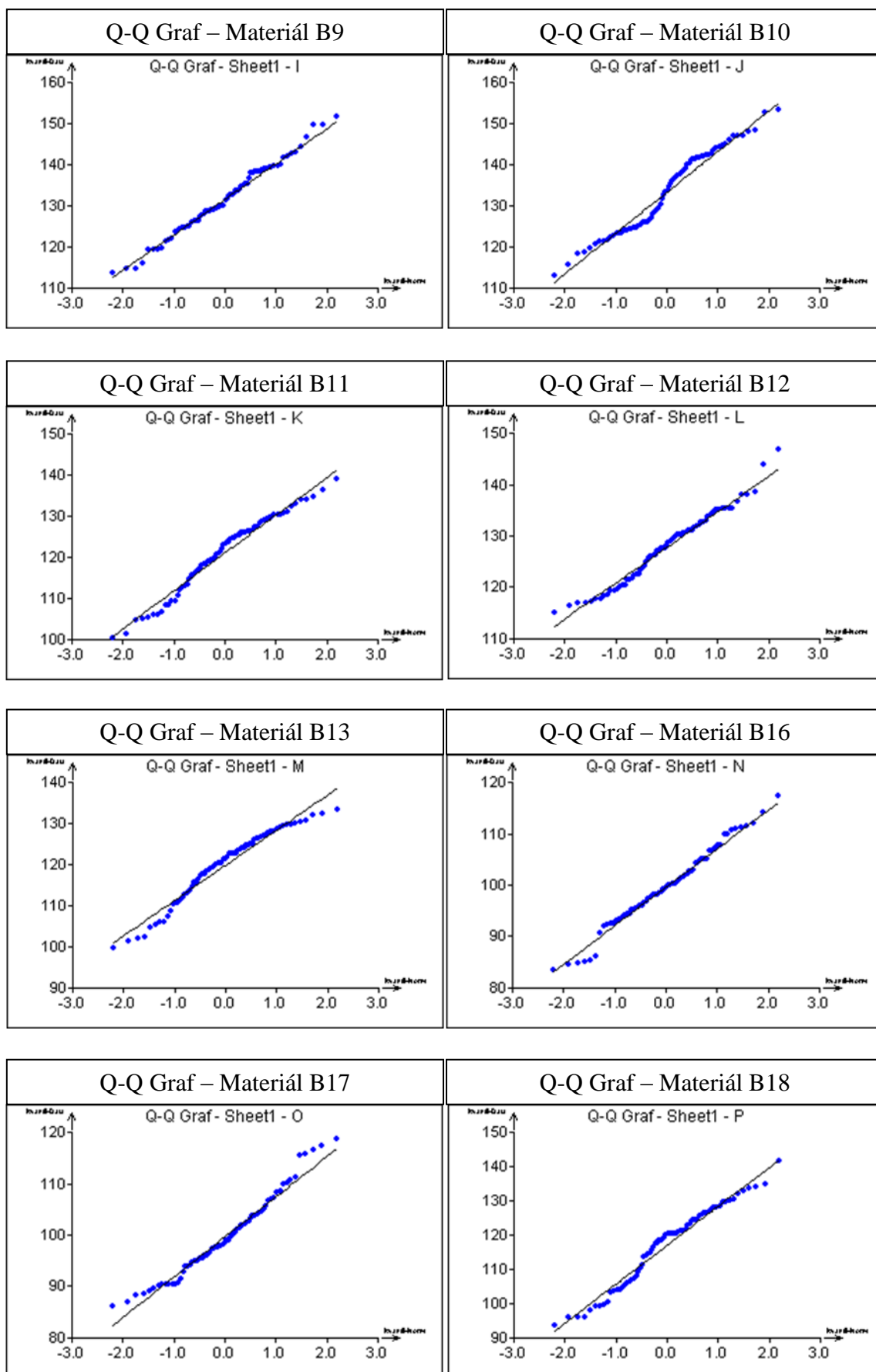


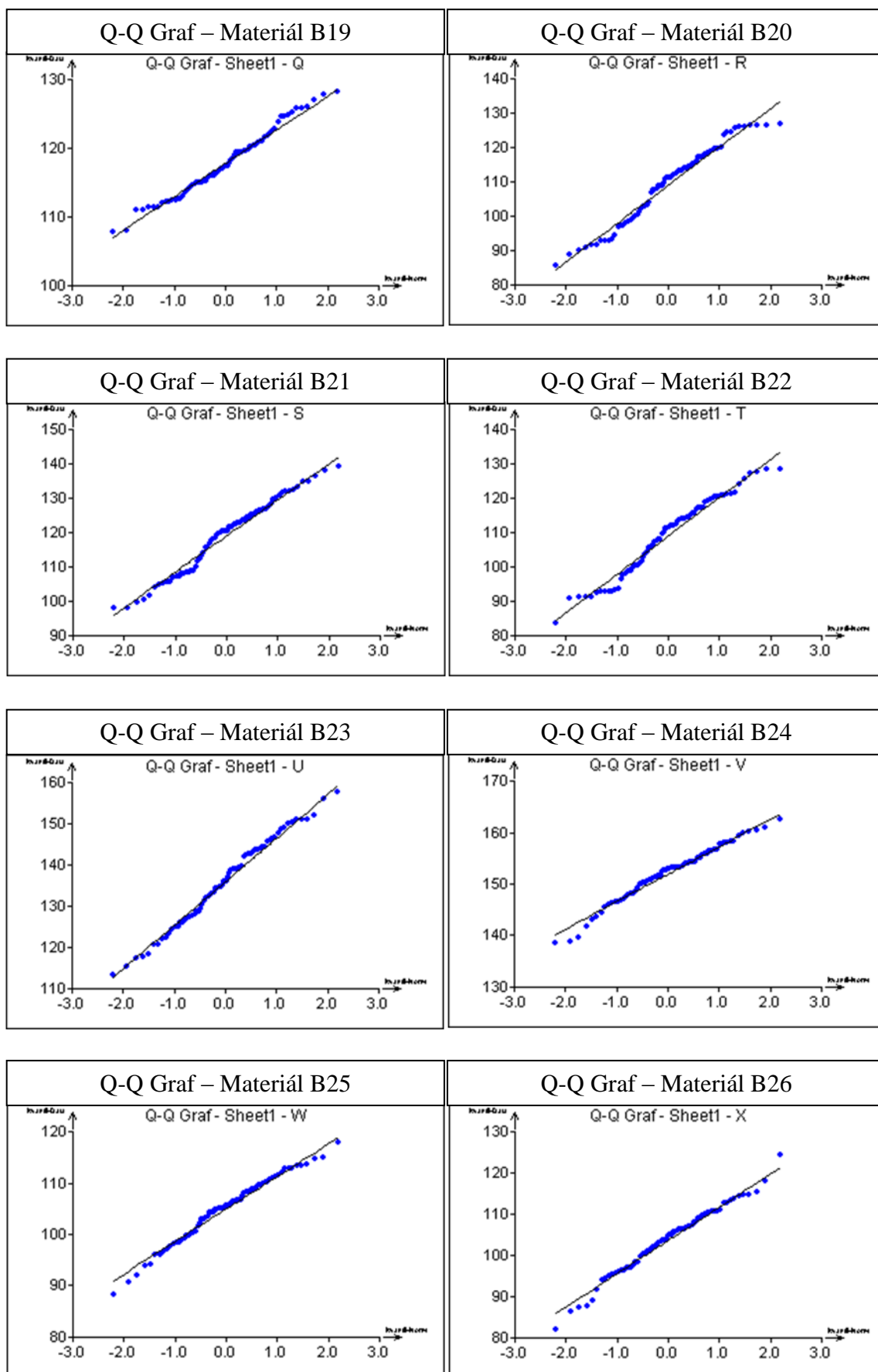


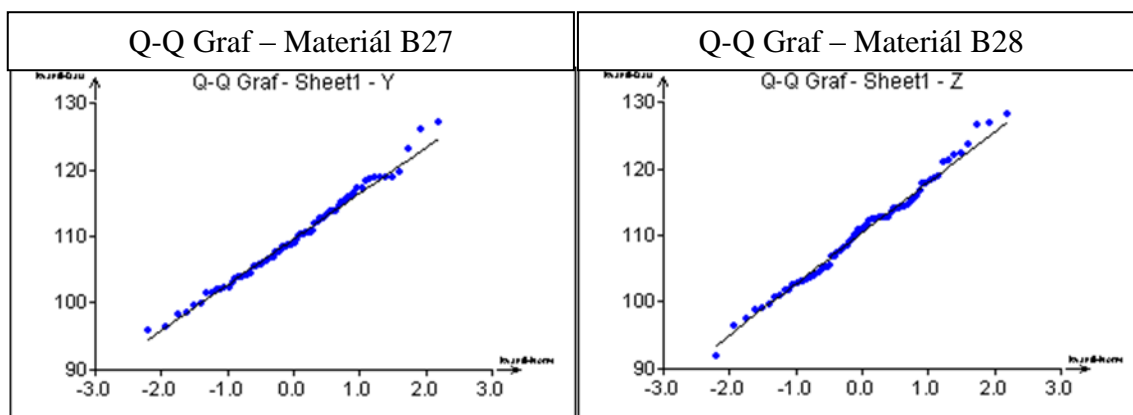


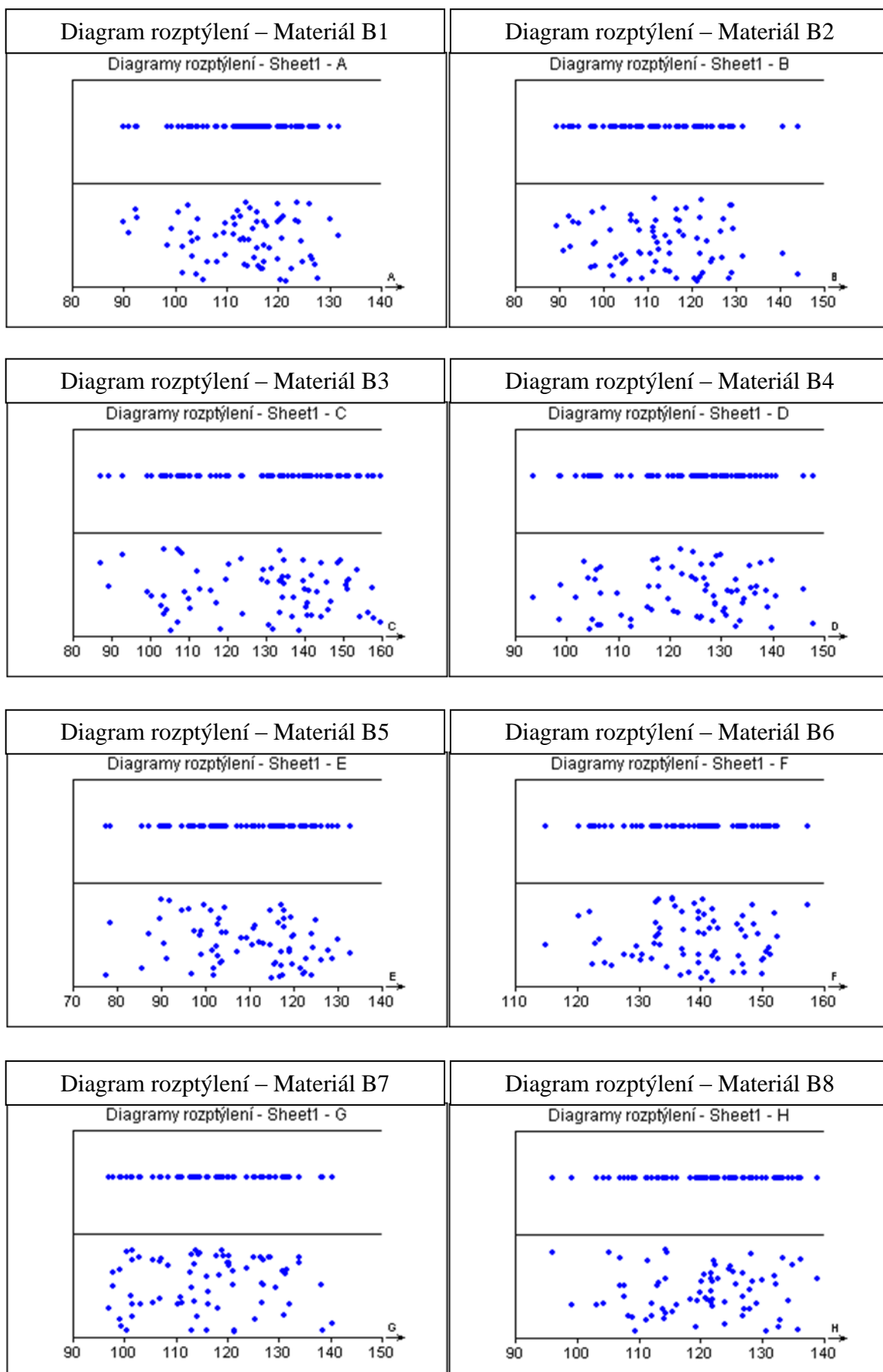


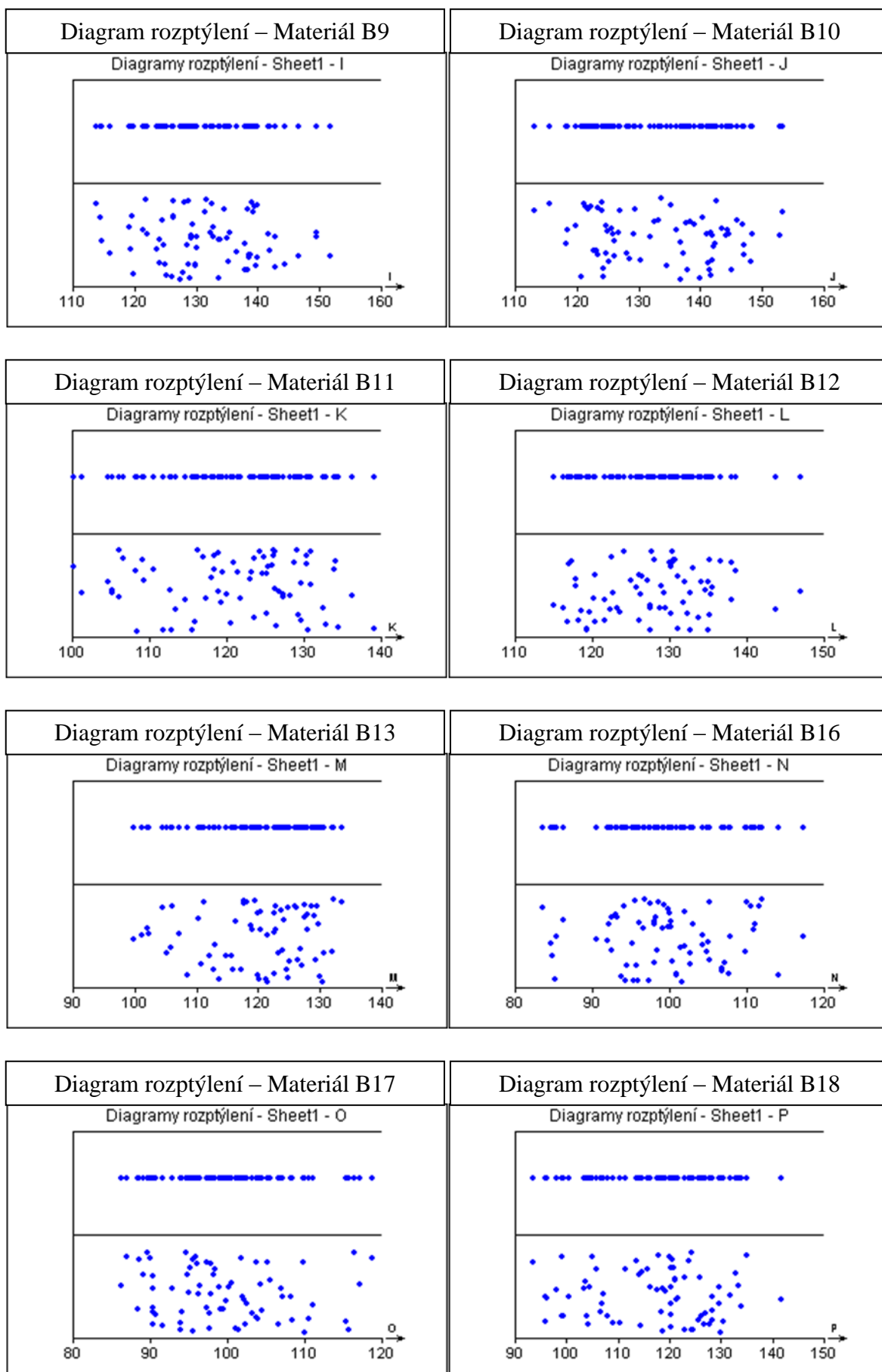


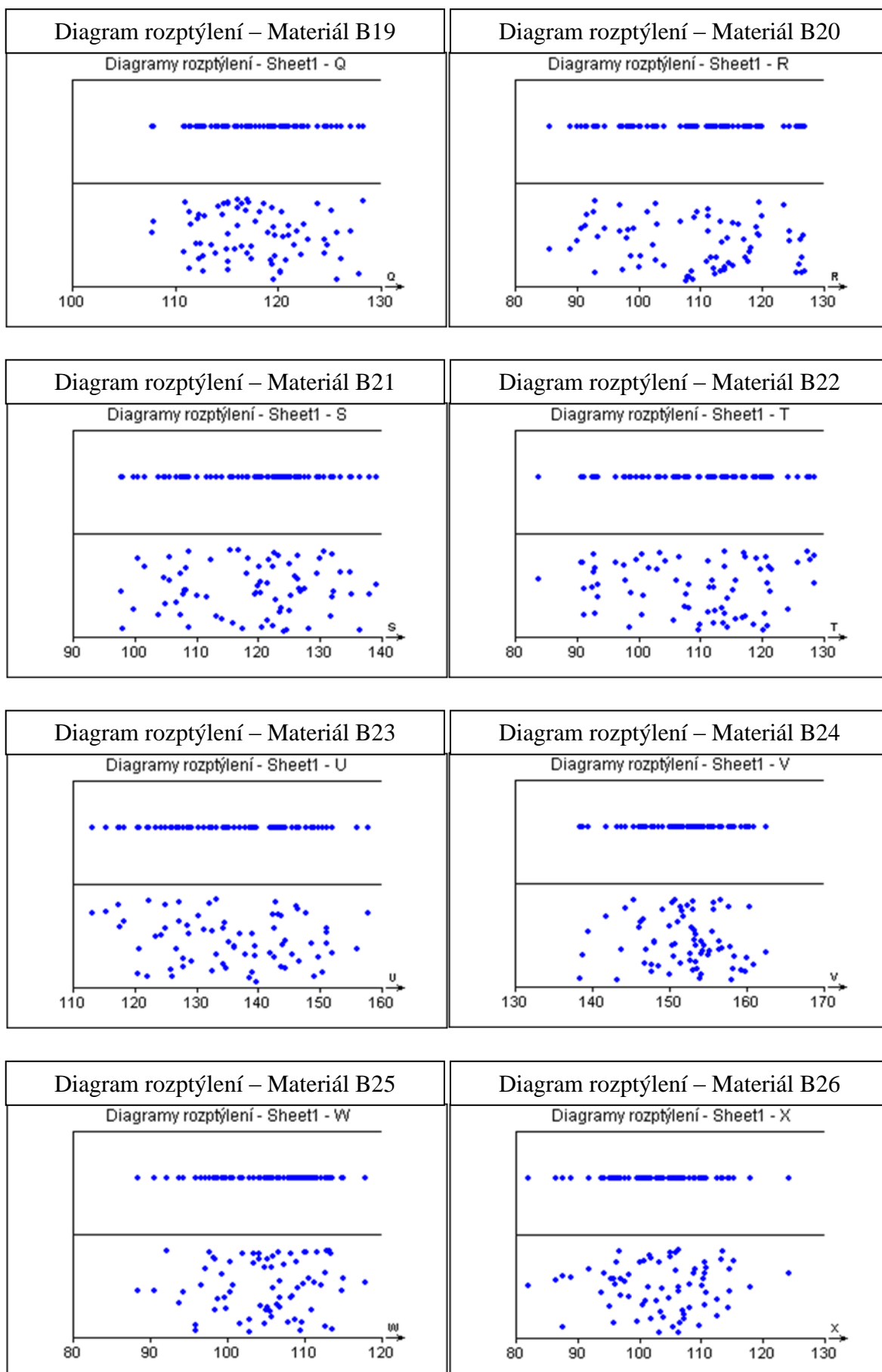


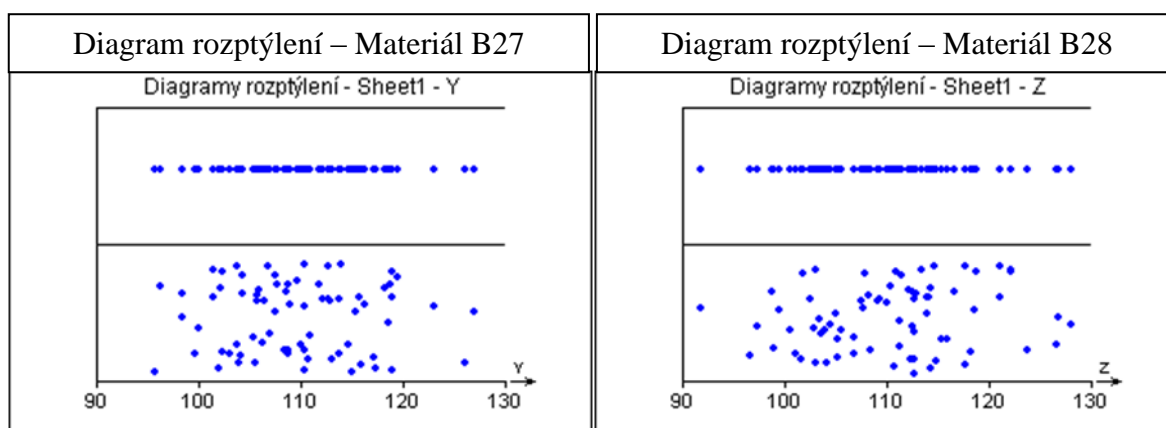


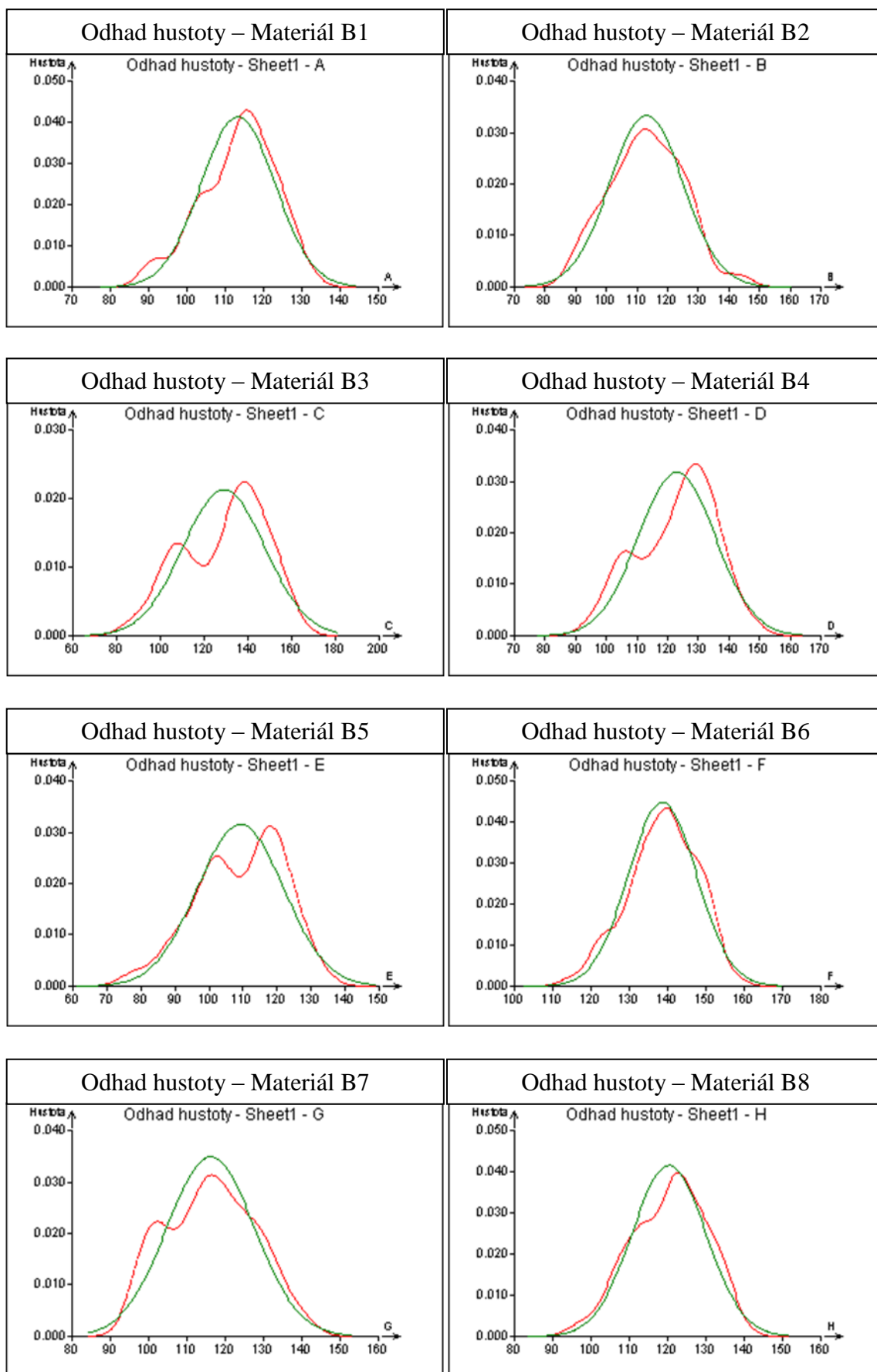




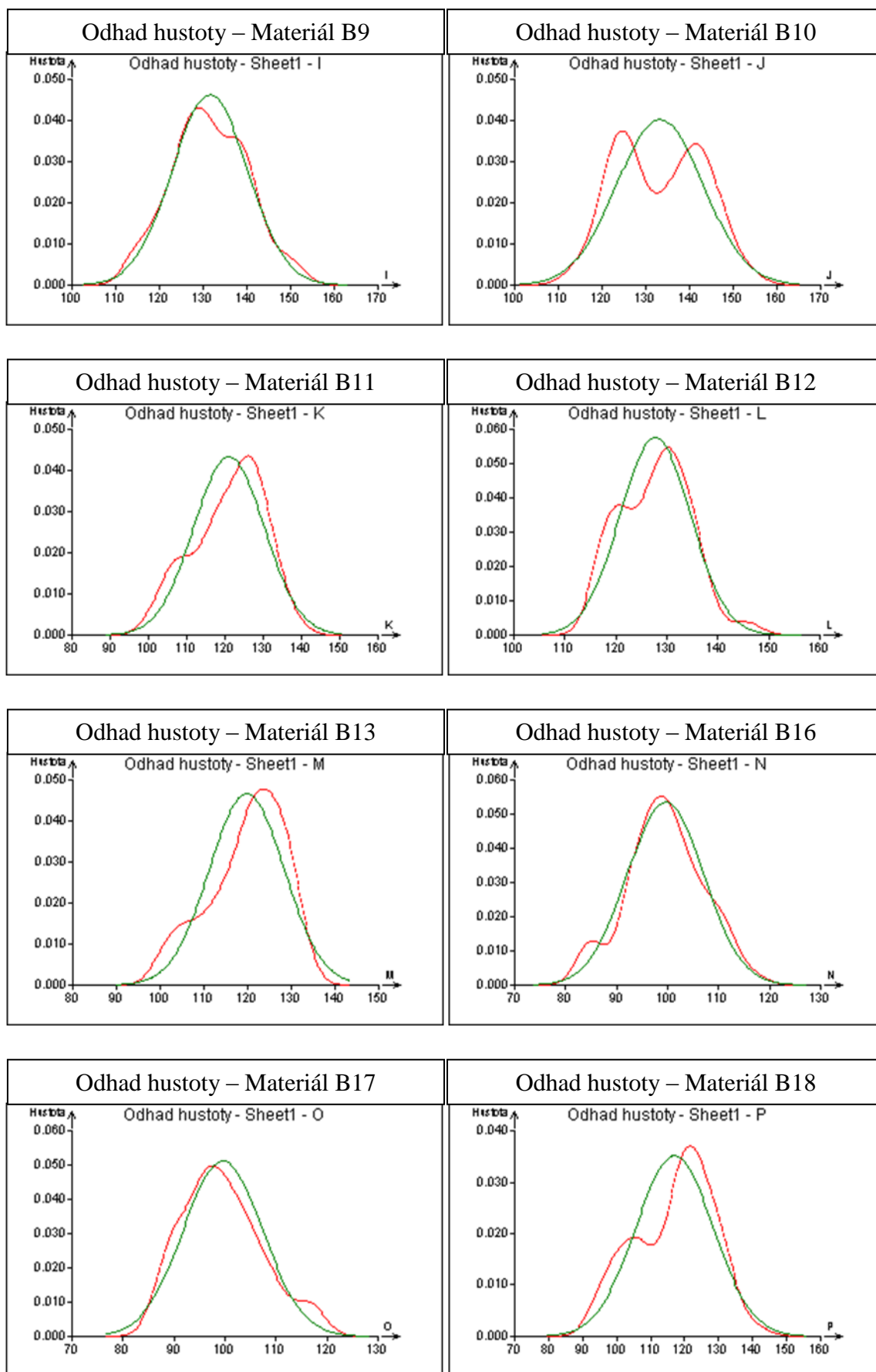


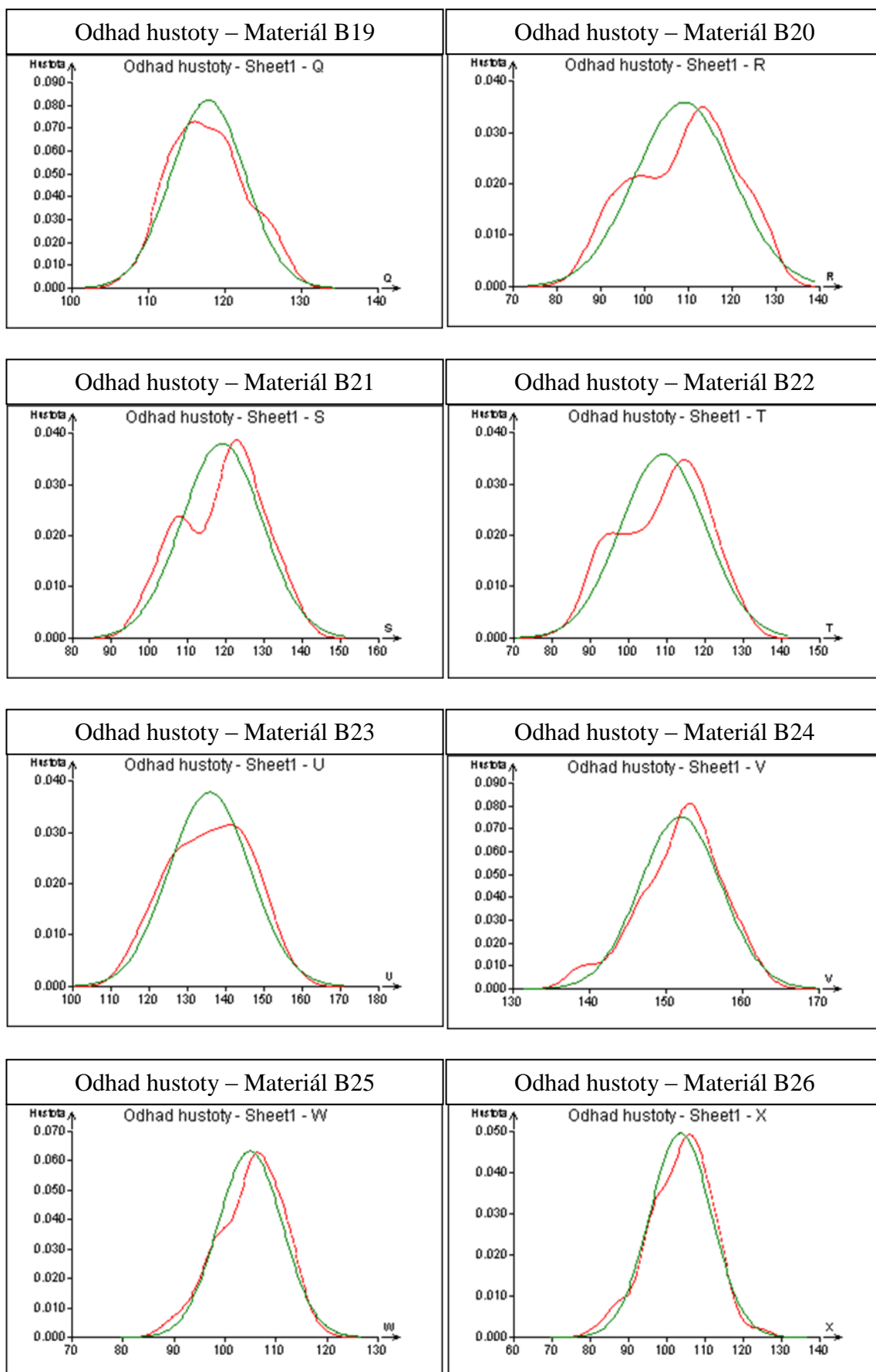


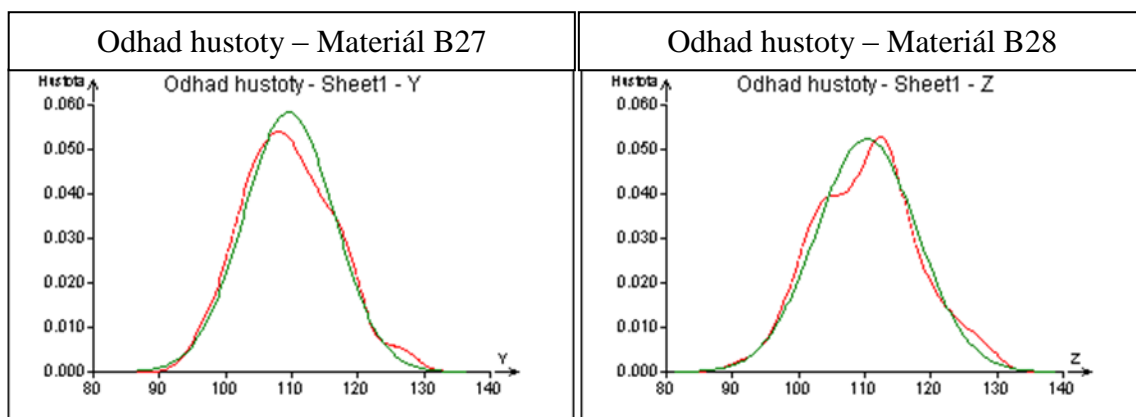


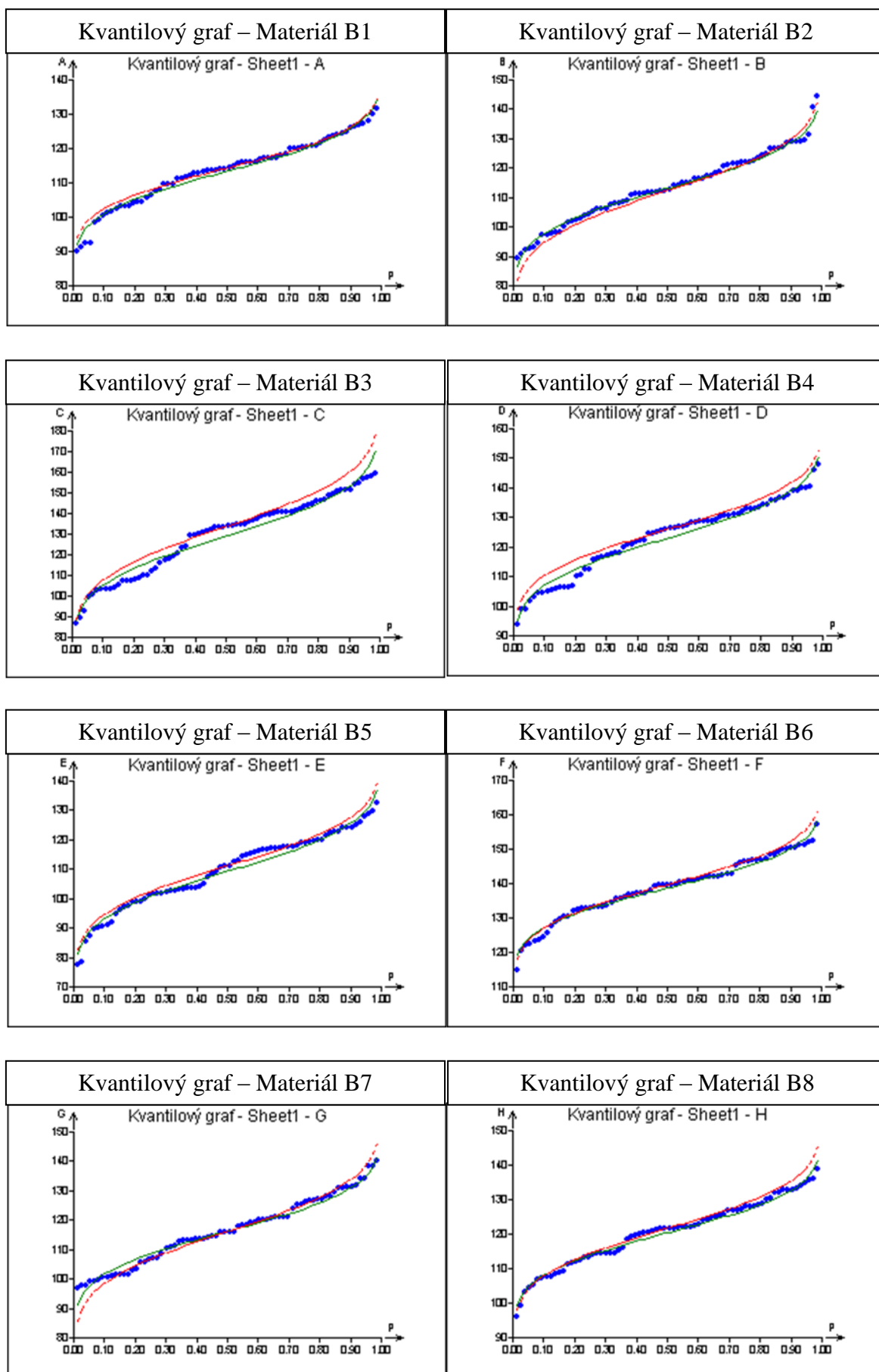


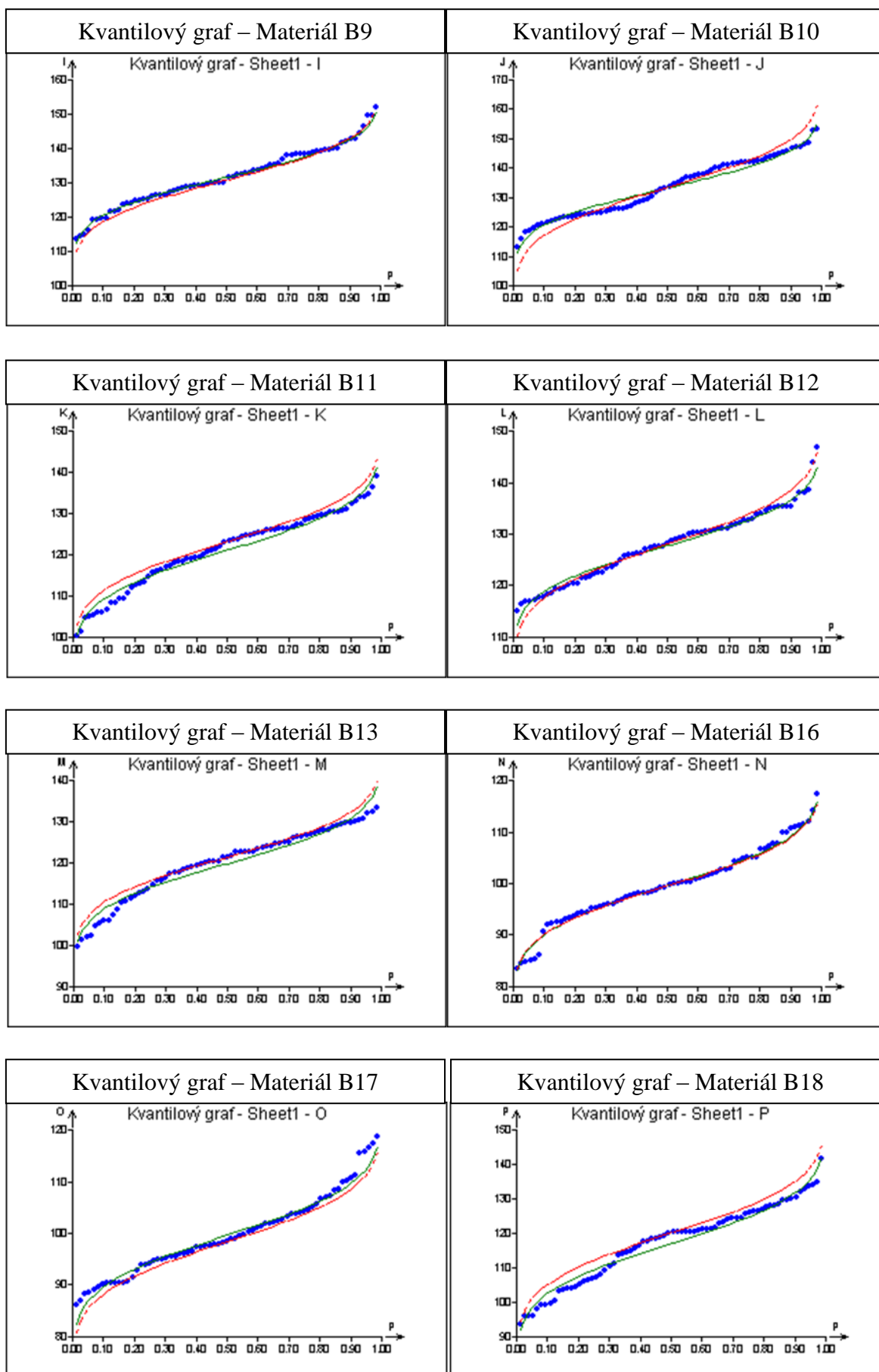


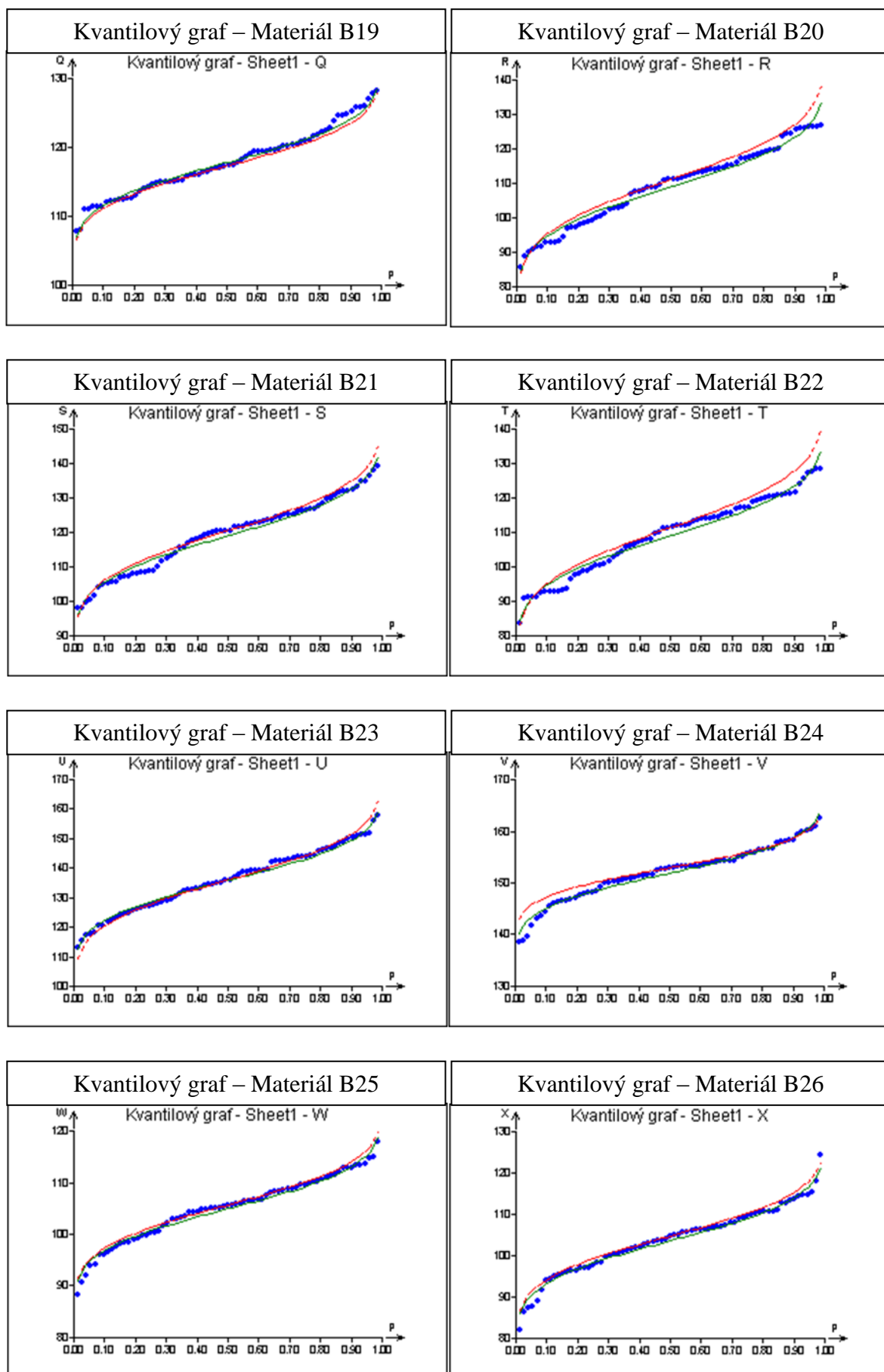


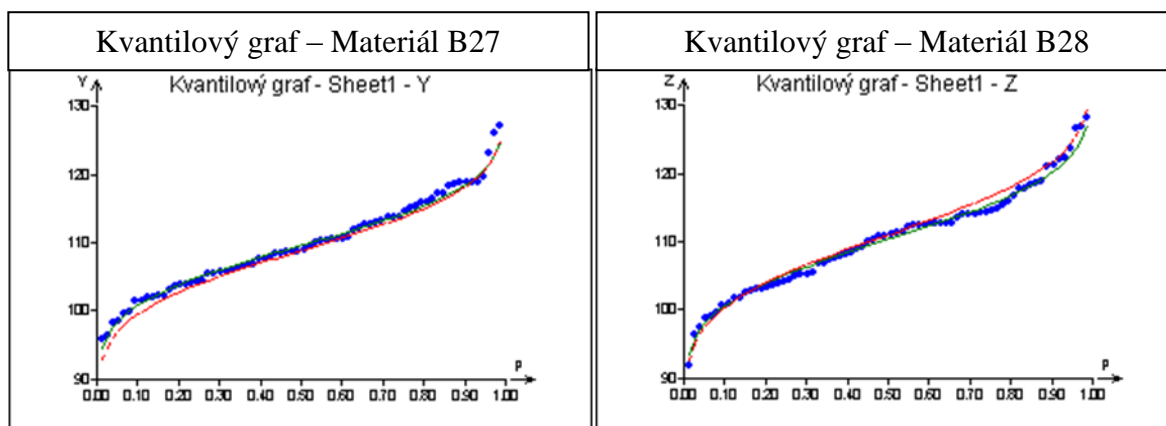


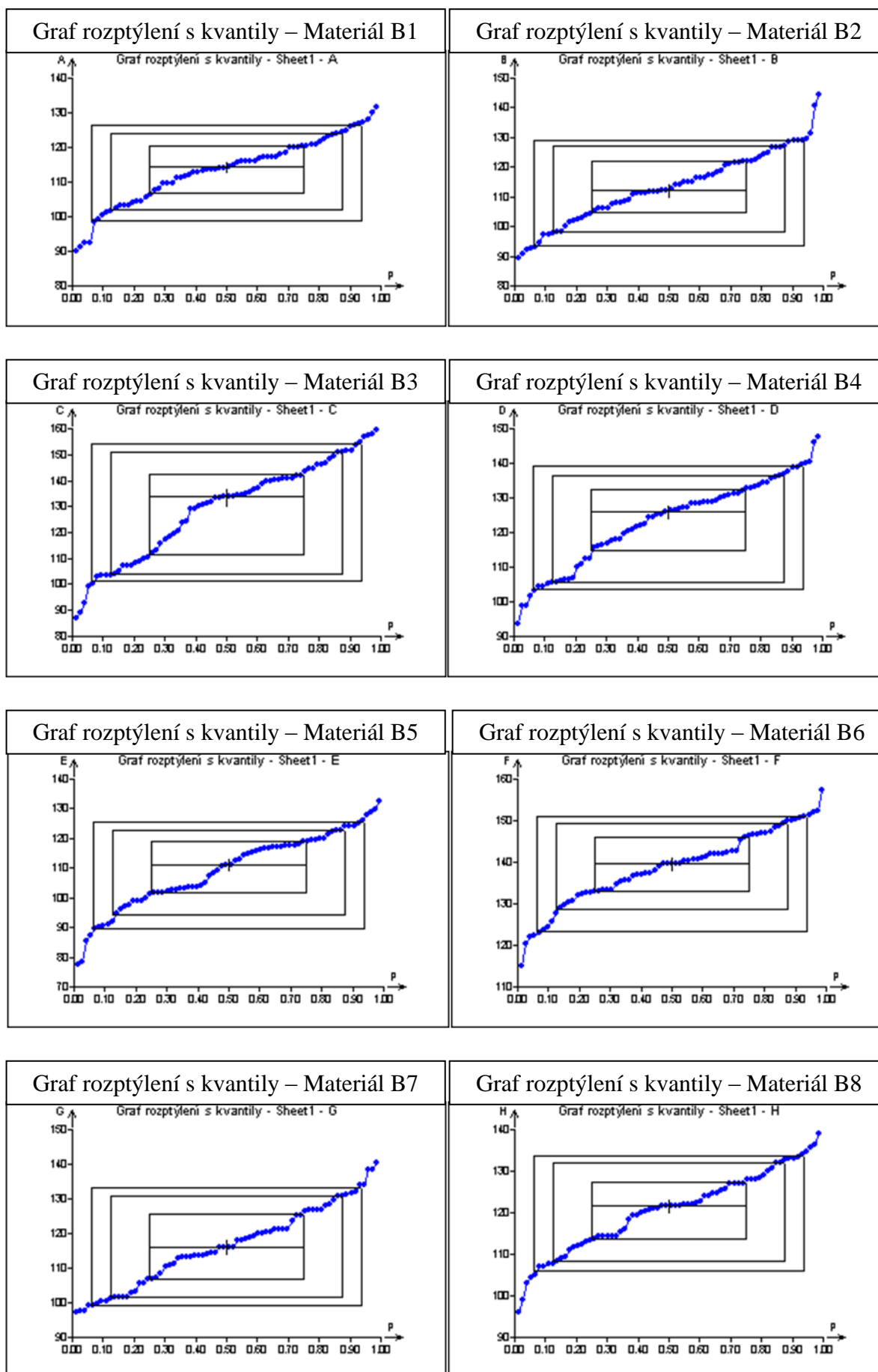




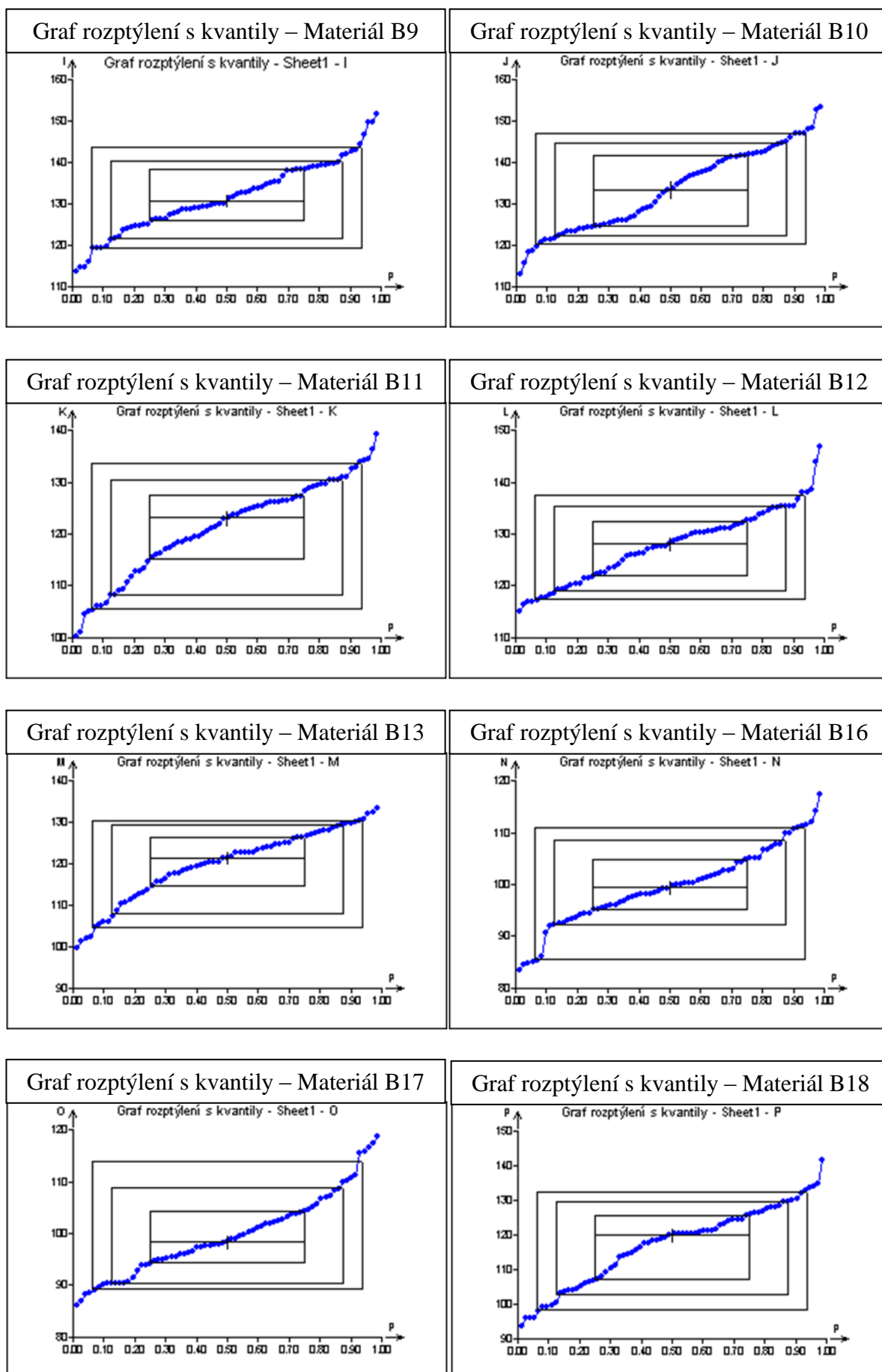


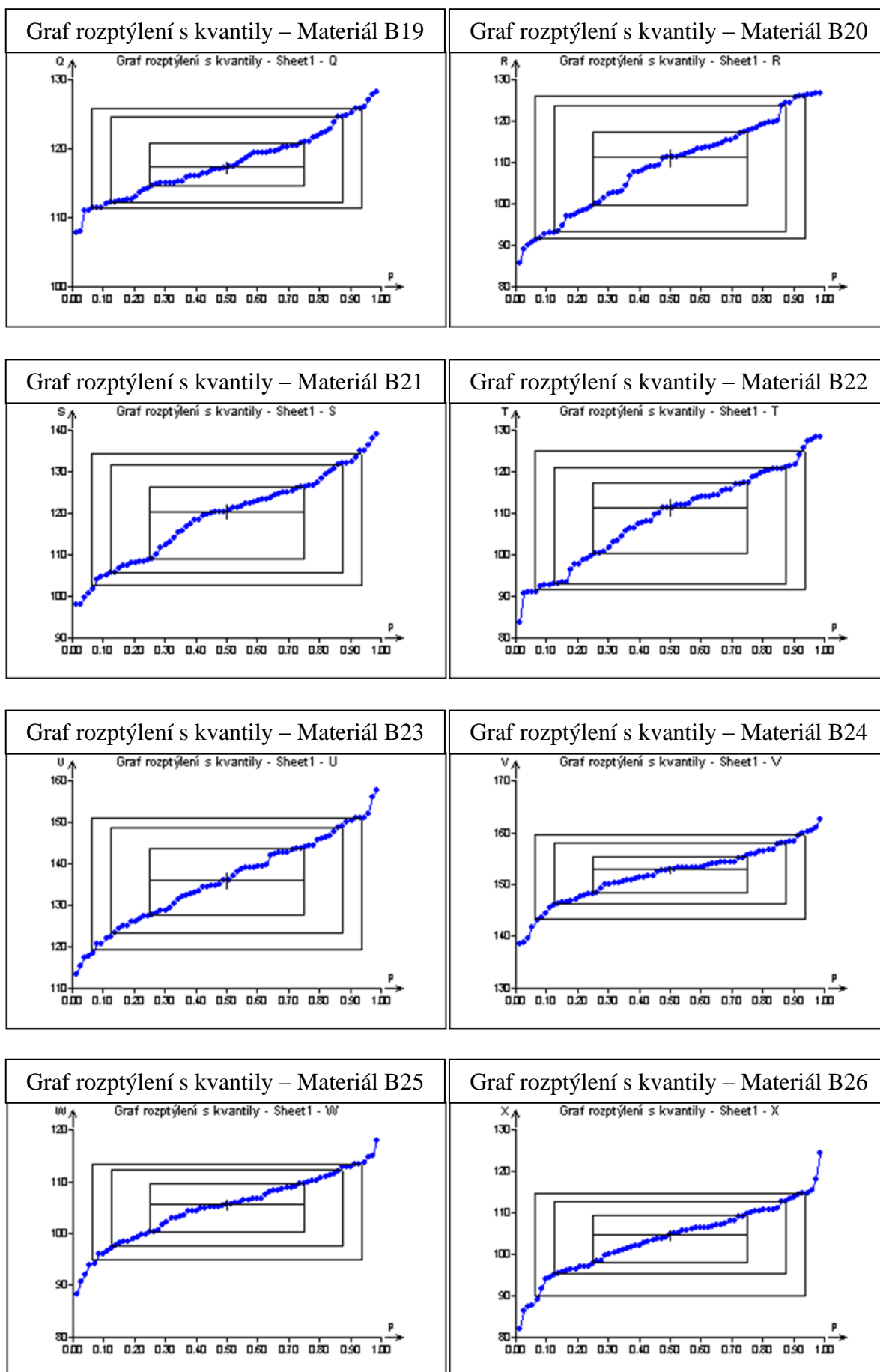


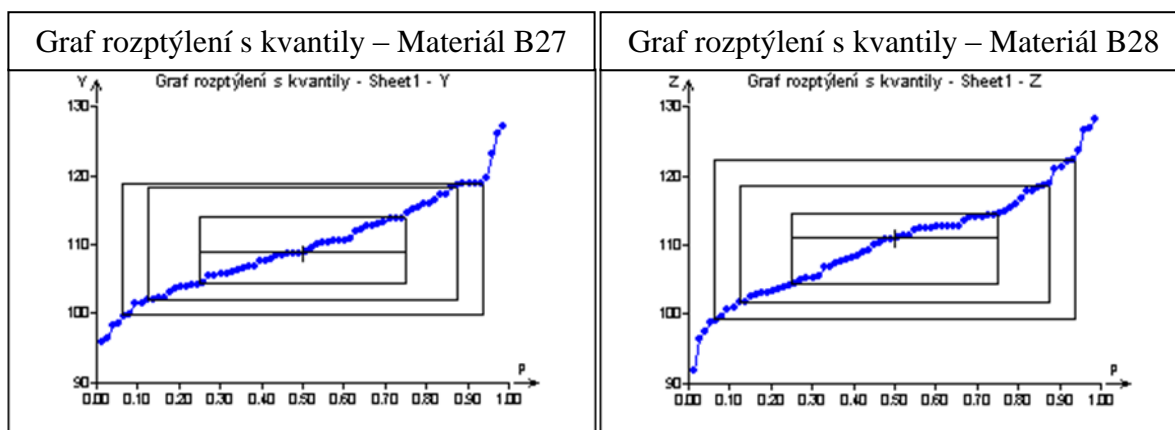


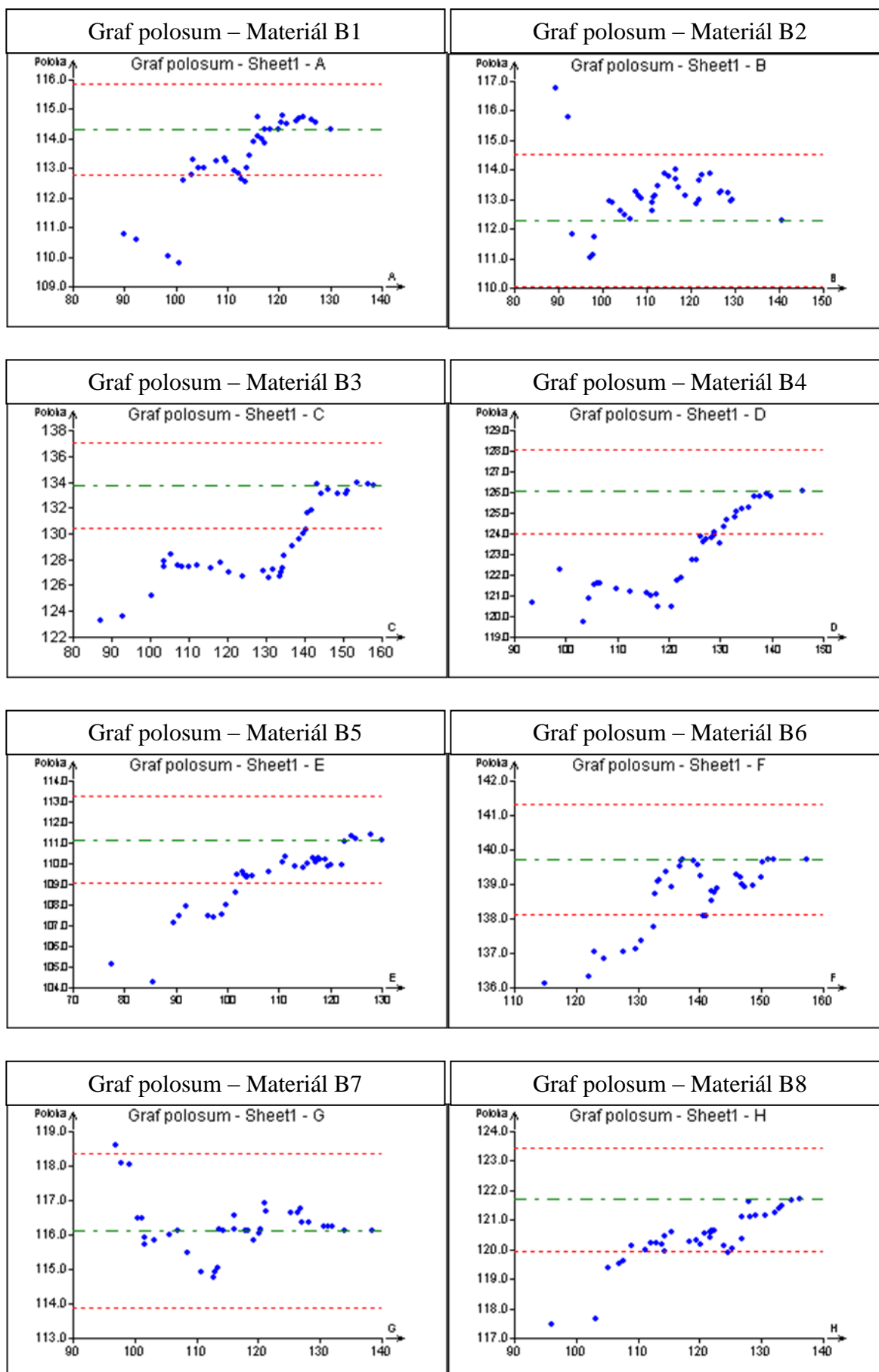


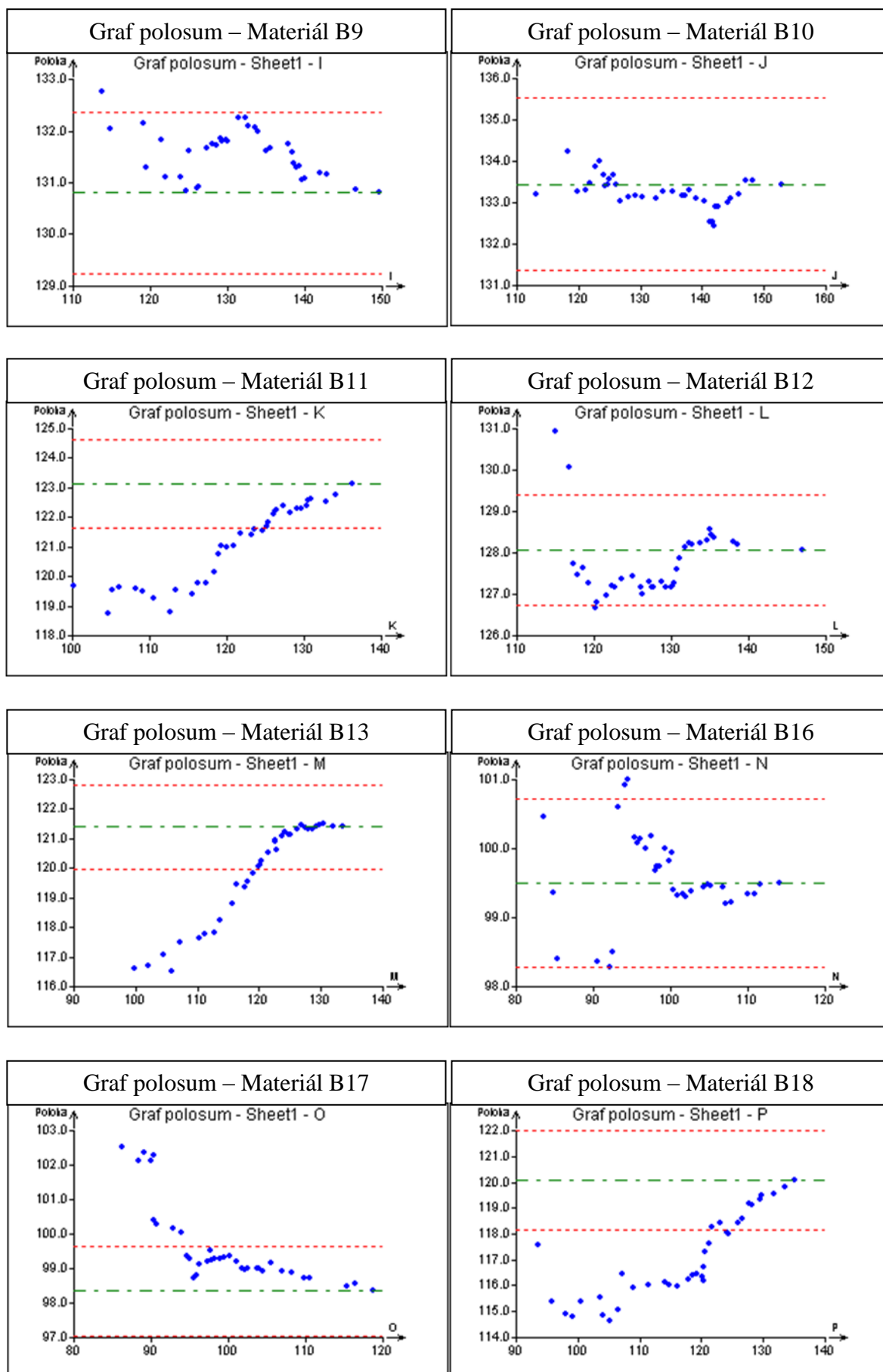


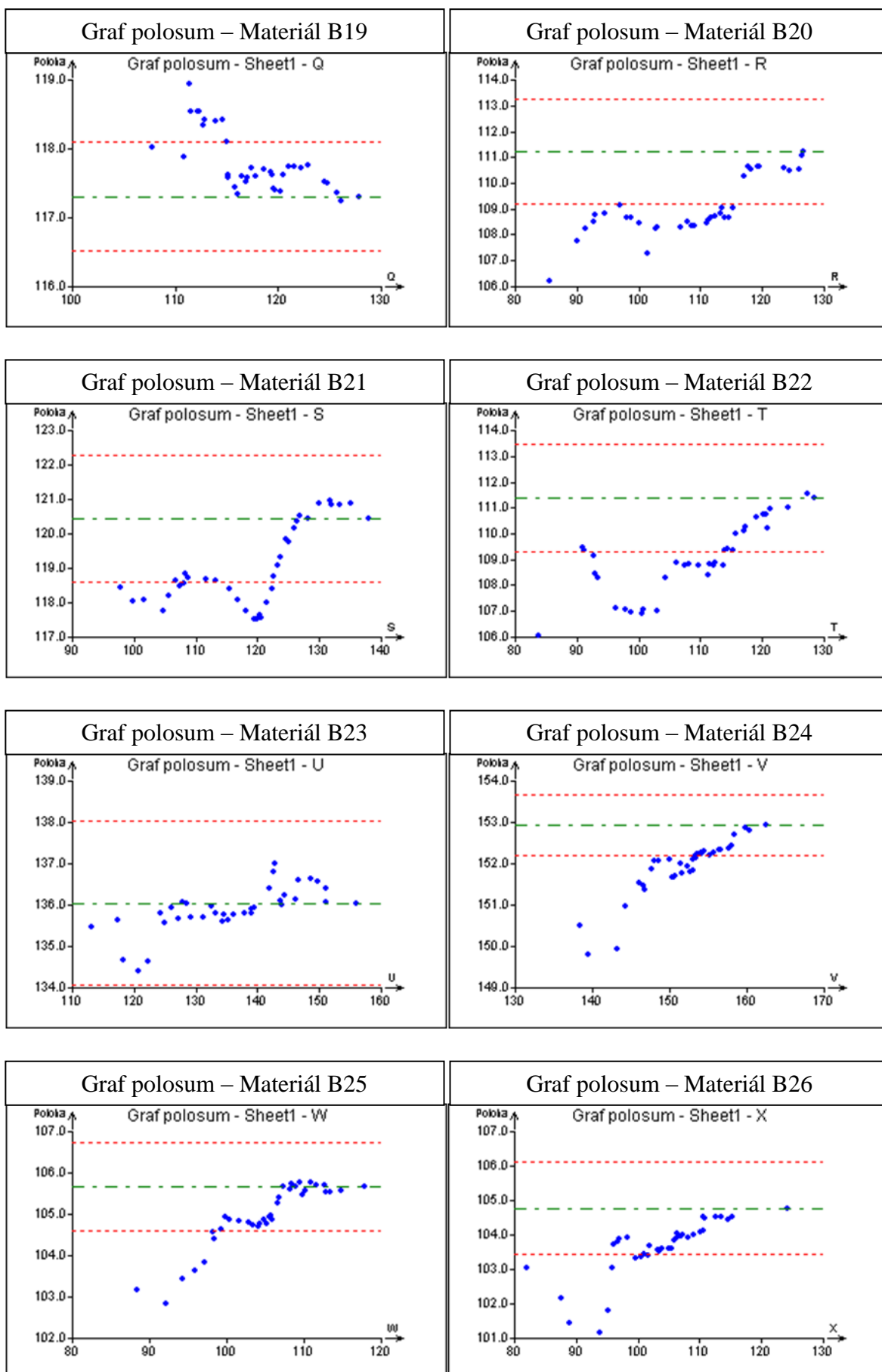


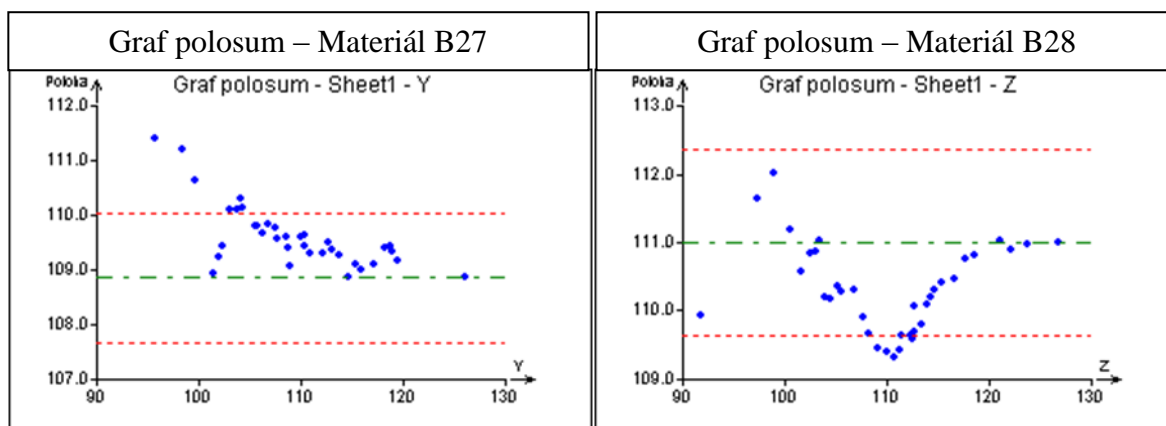


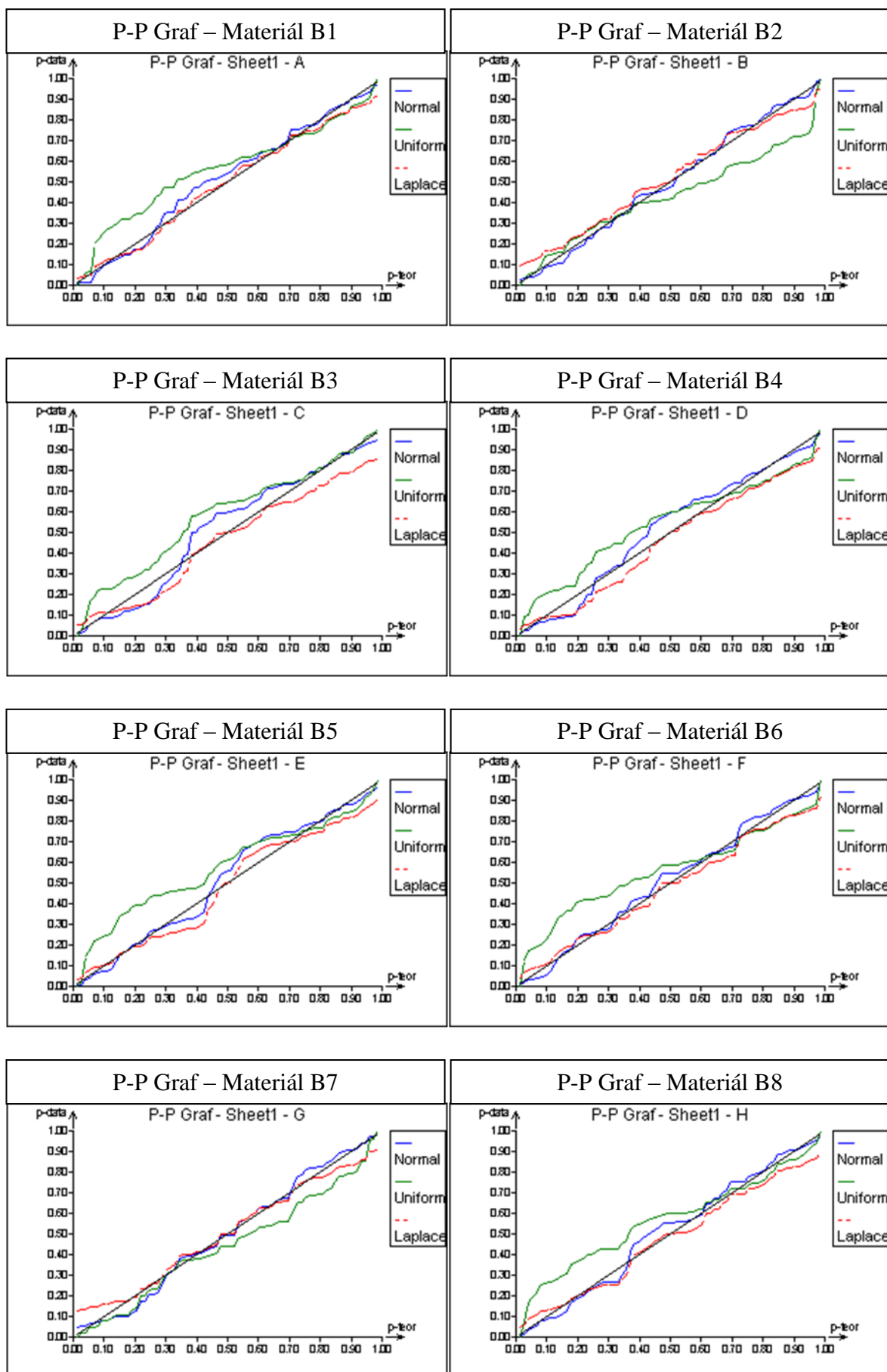




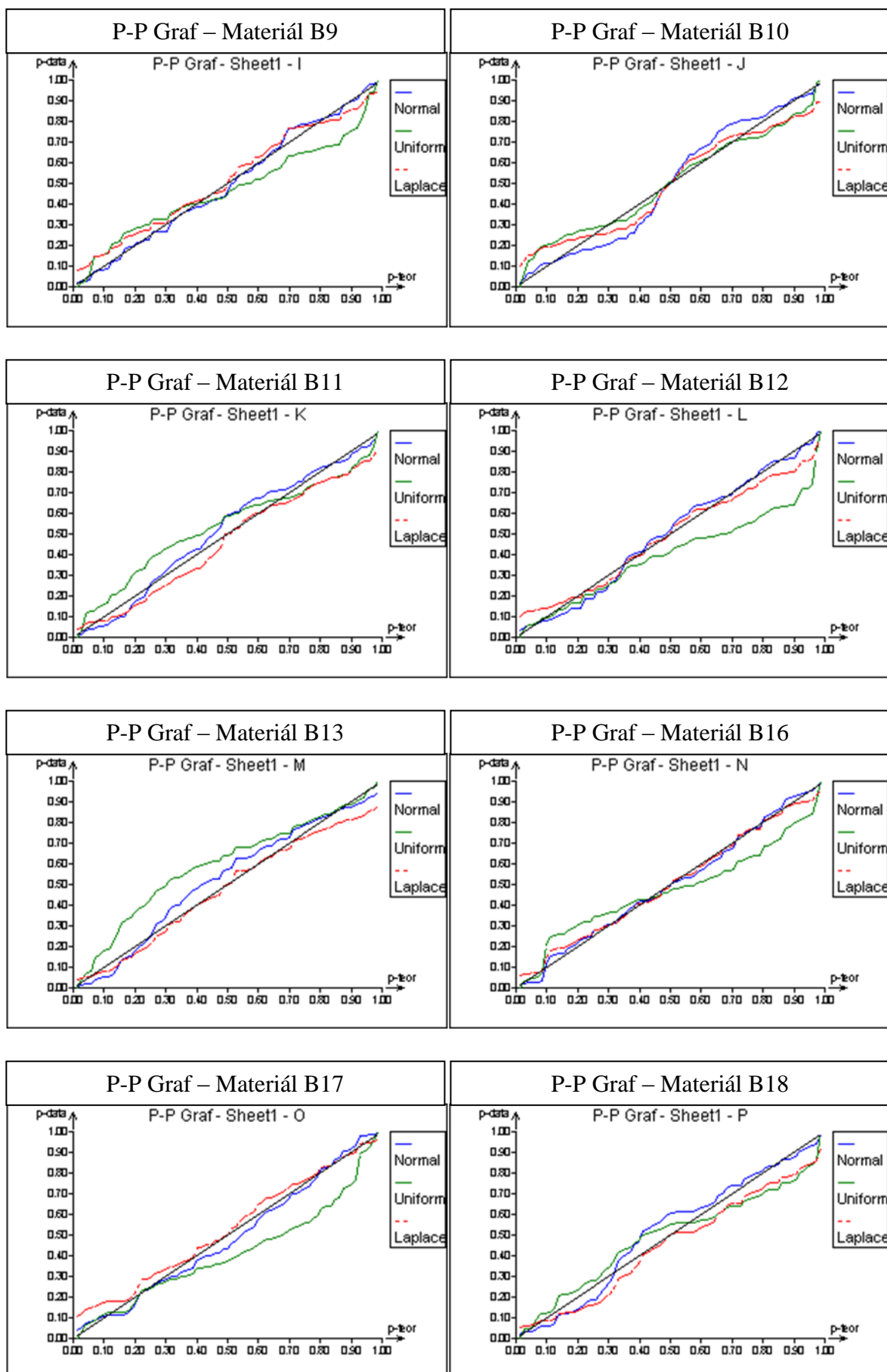


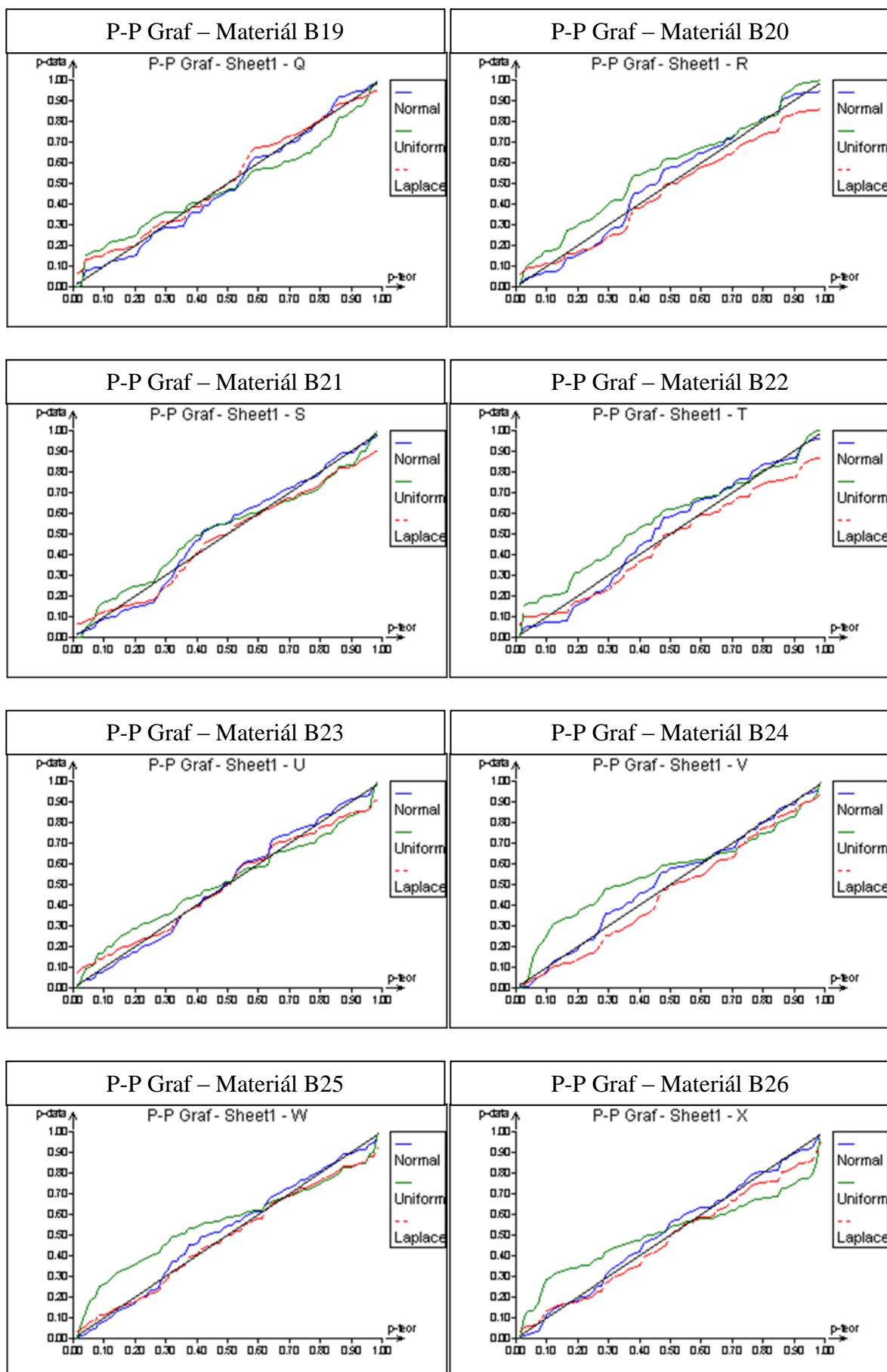


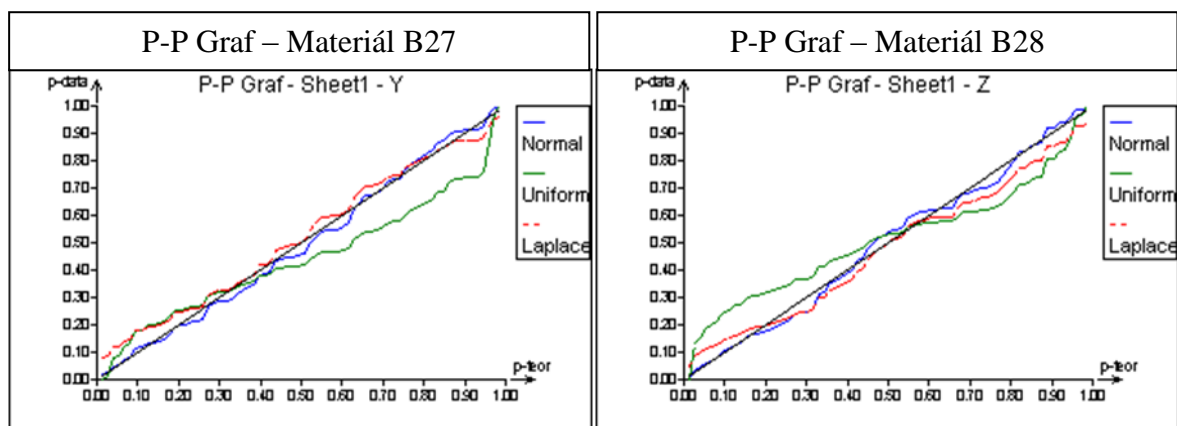


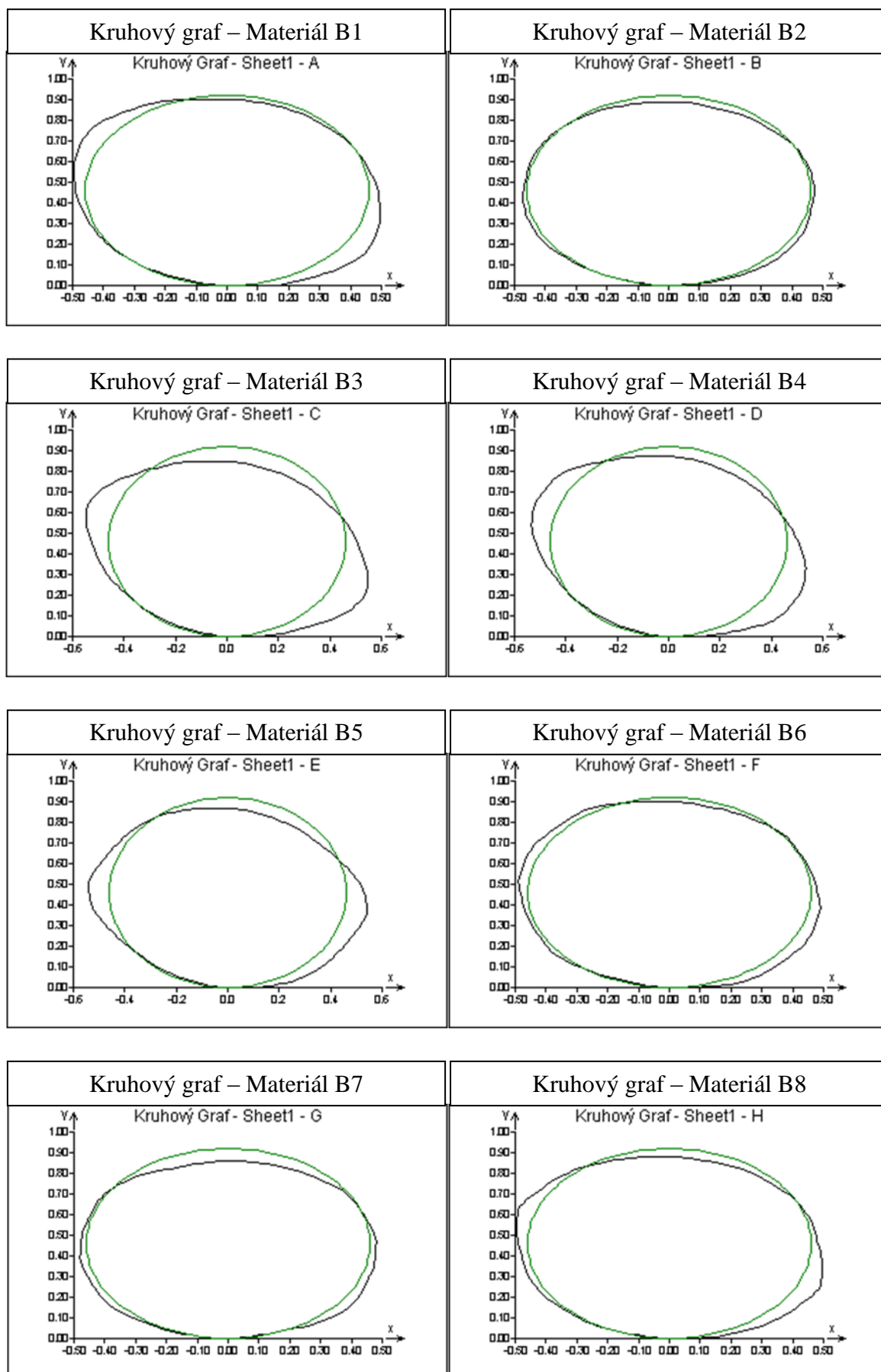


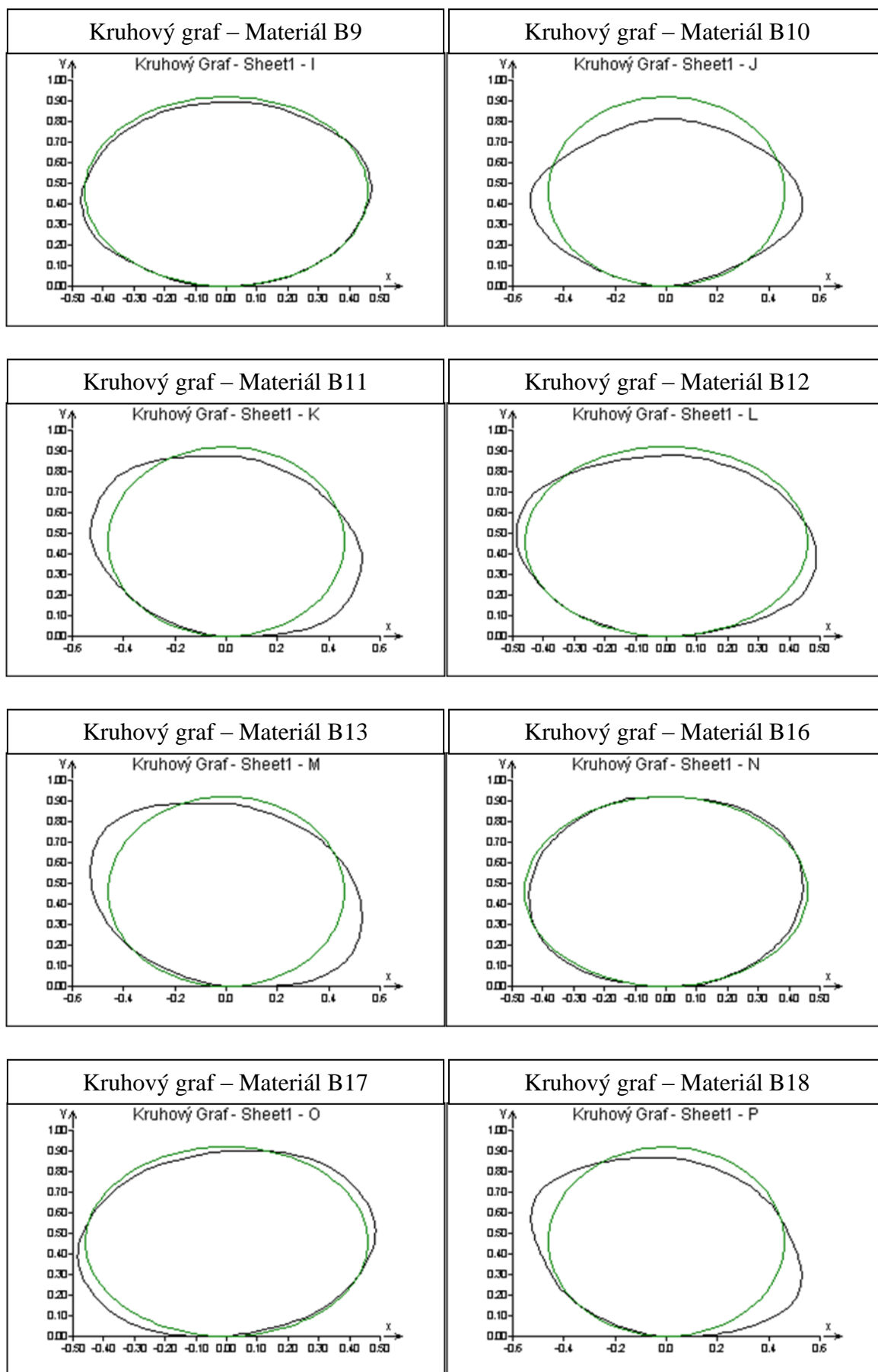


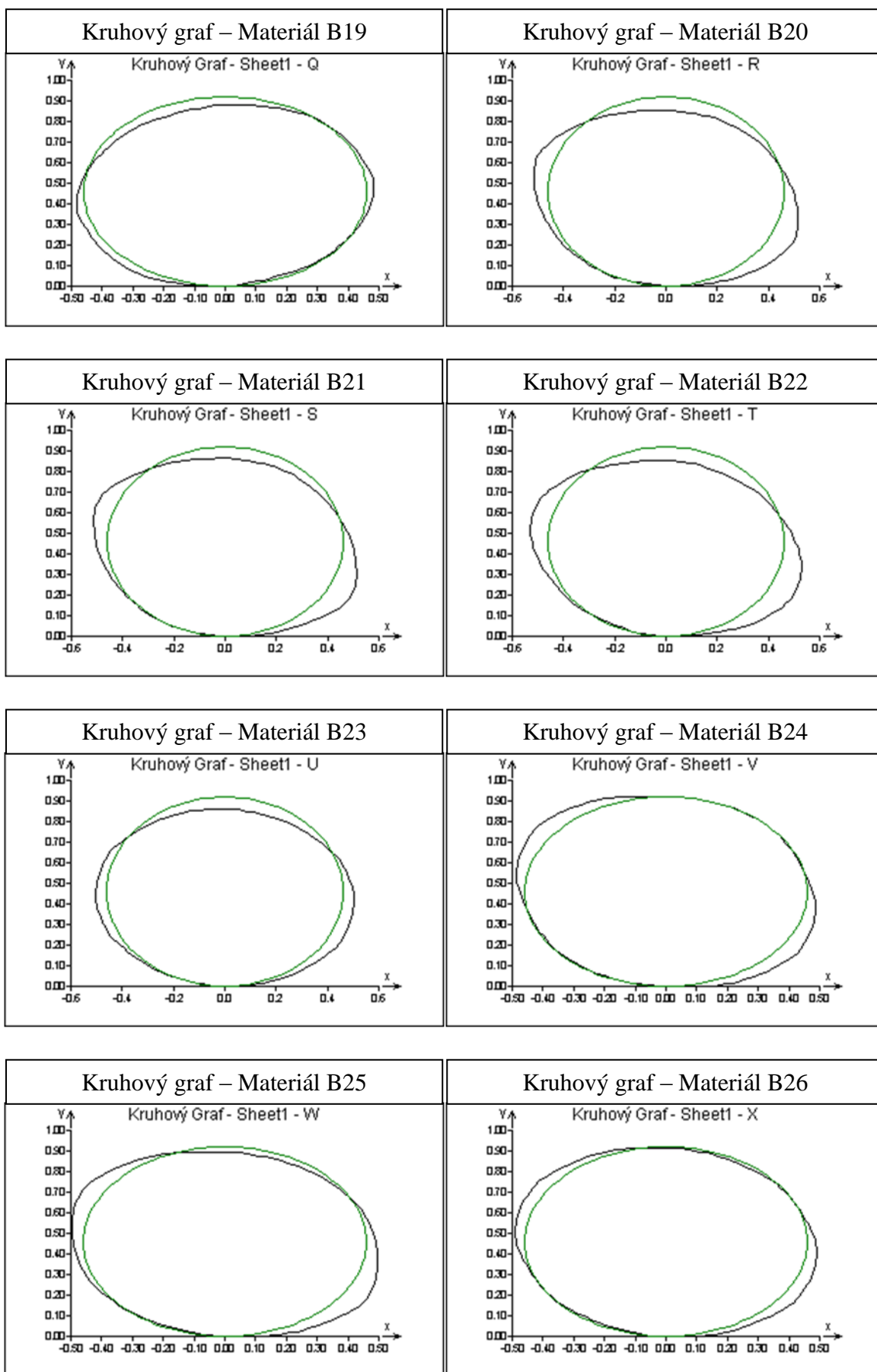


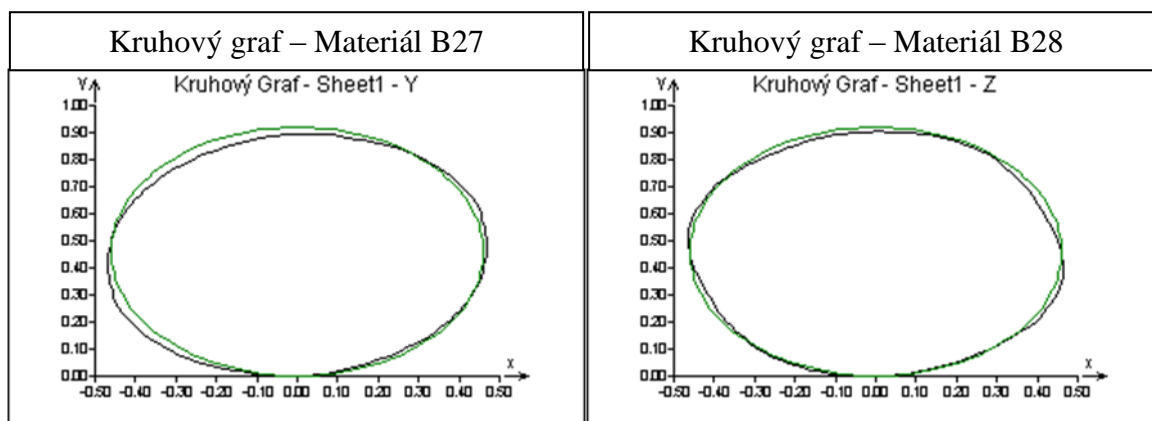




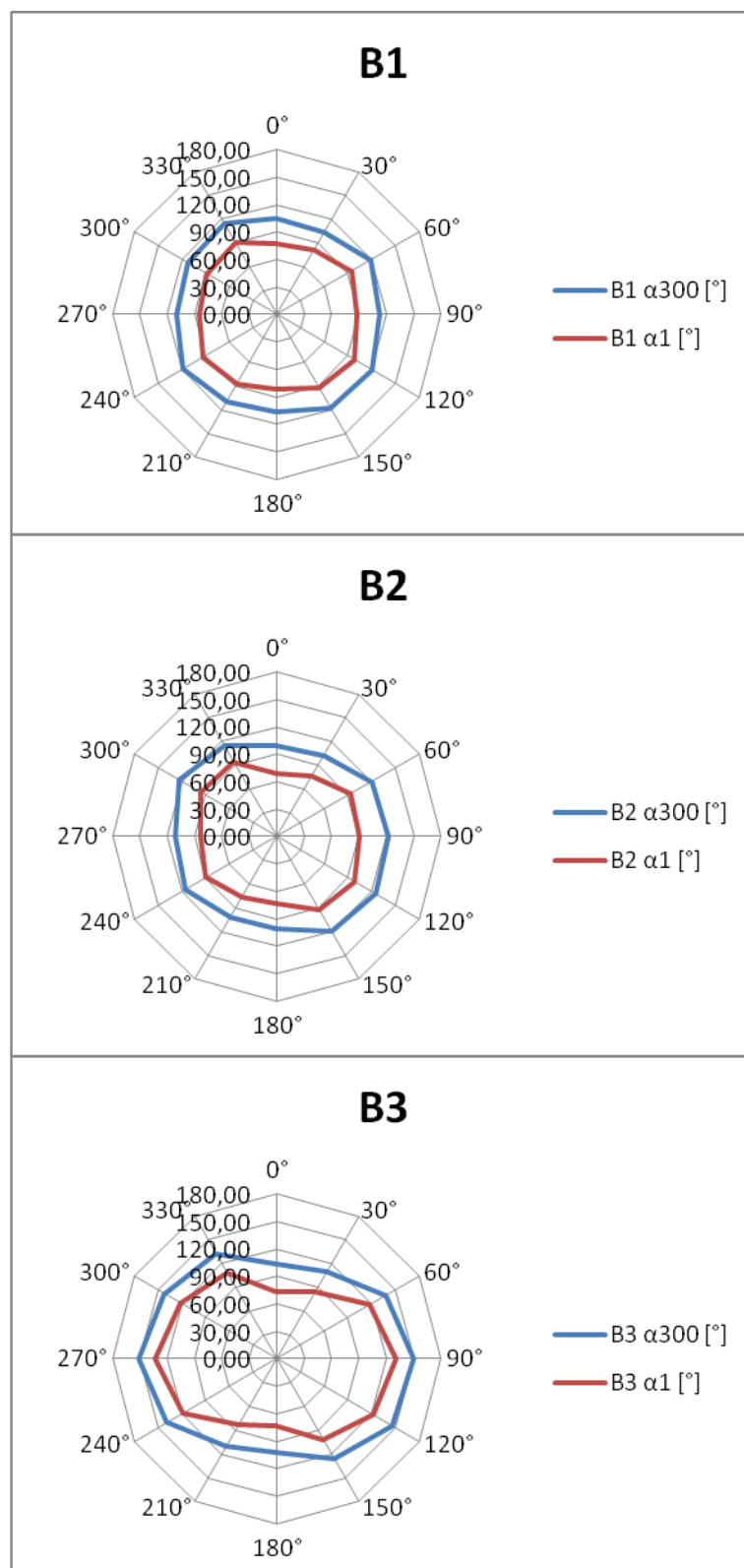




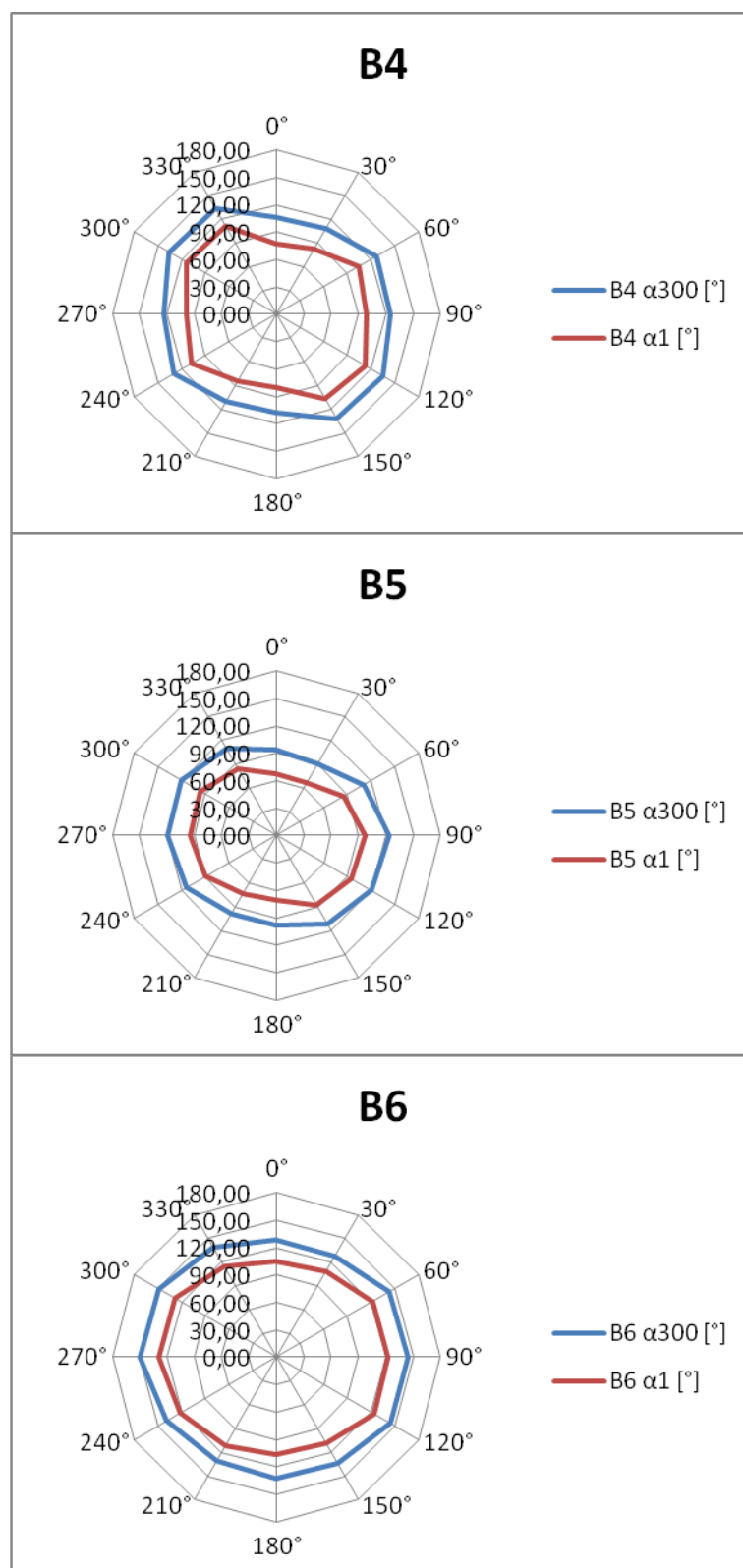


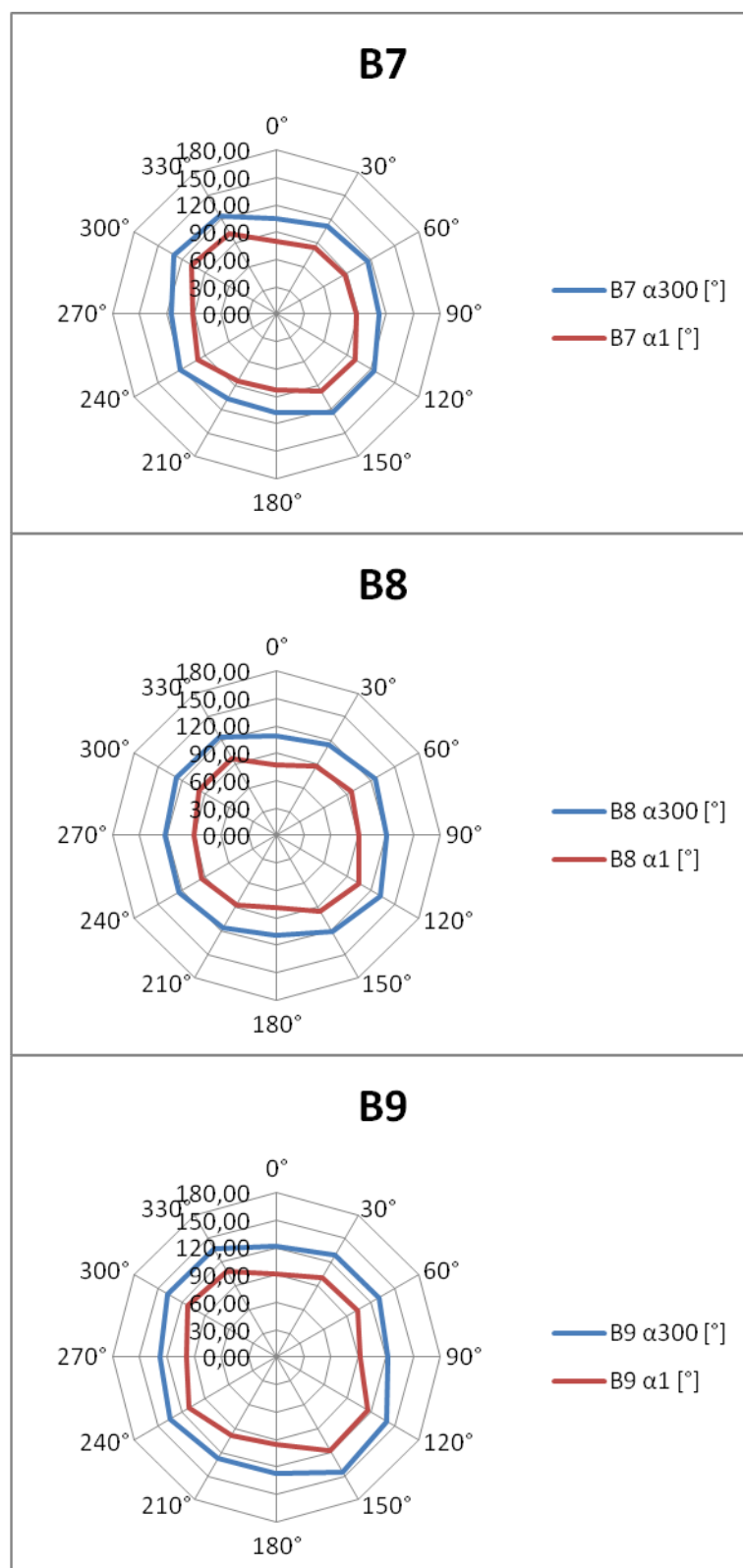


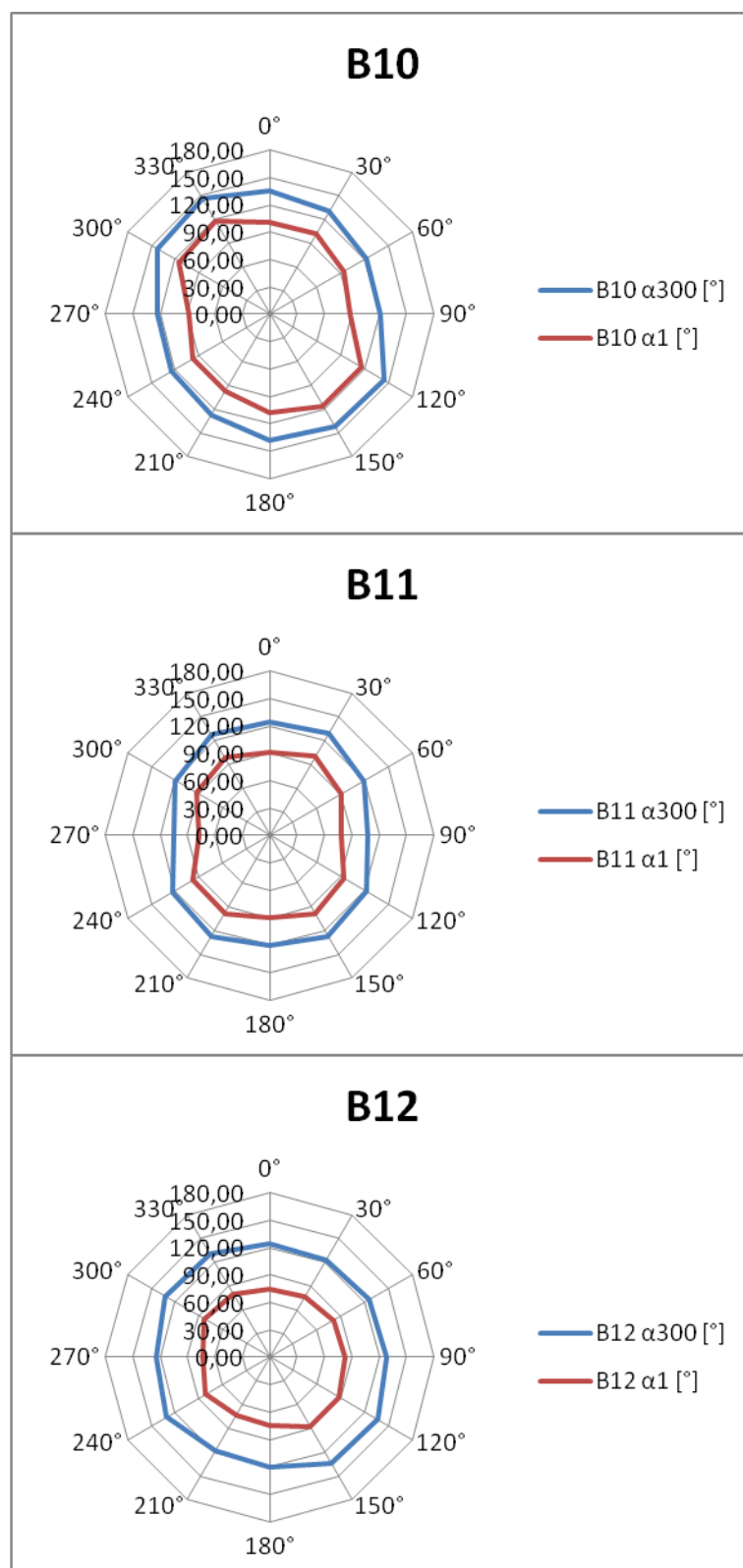
**Příloha č.3: Polární diagramy**

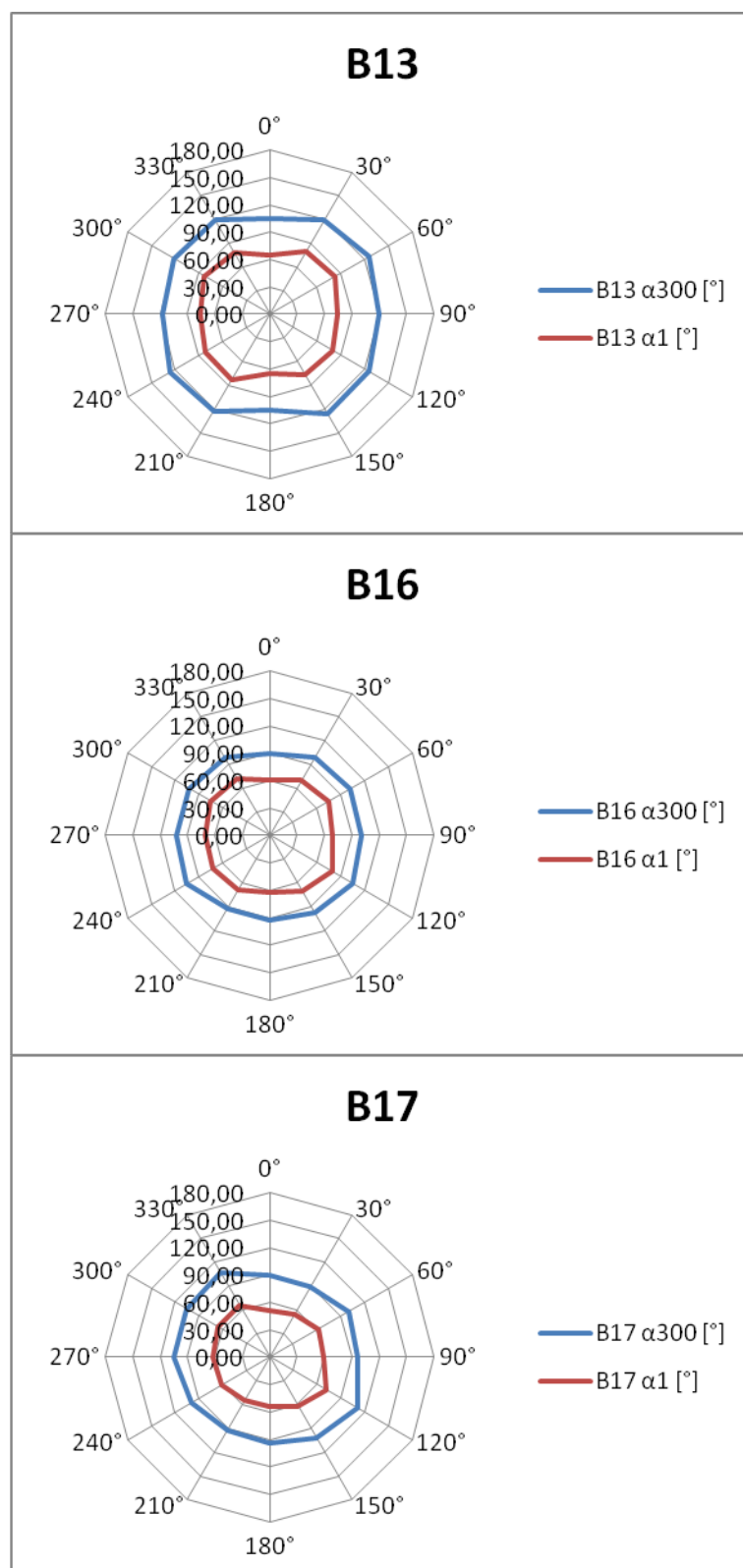


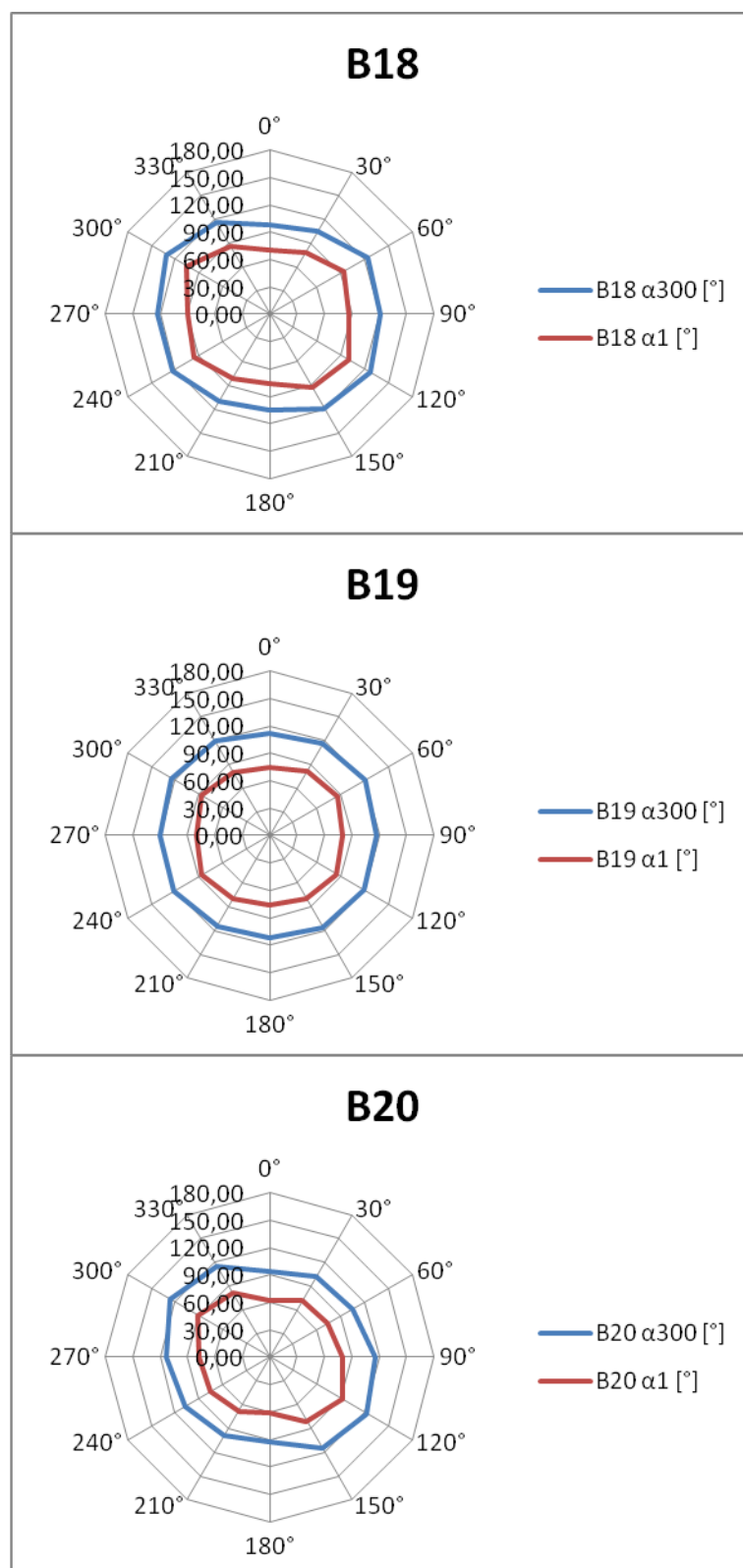


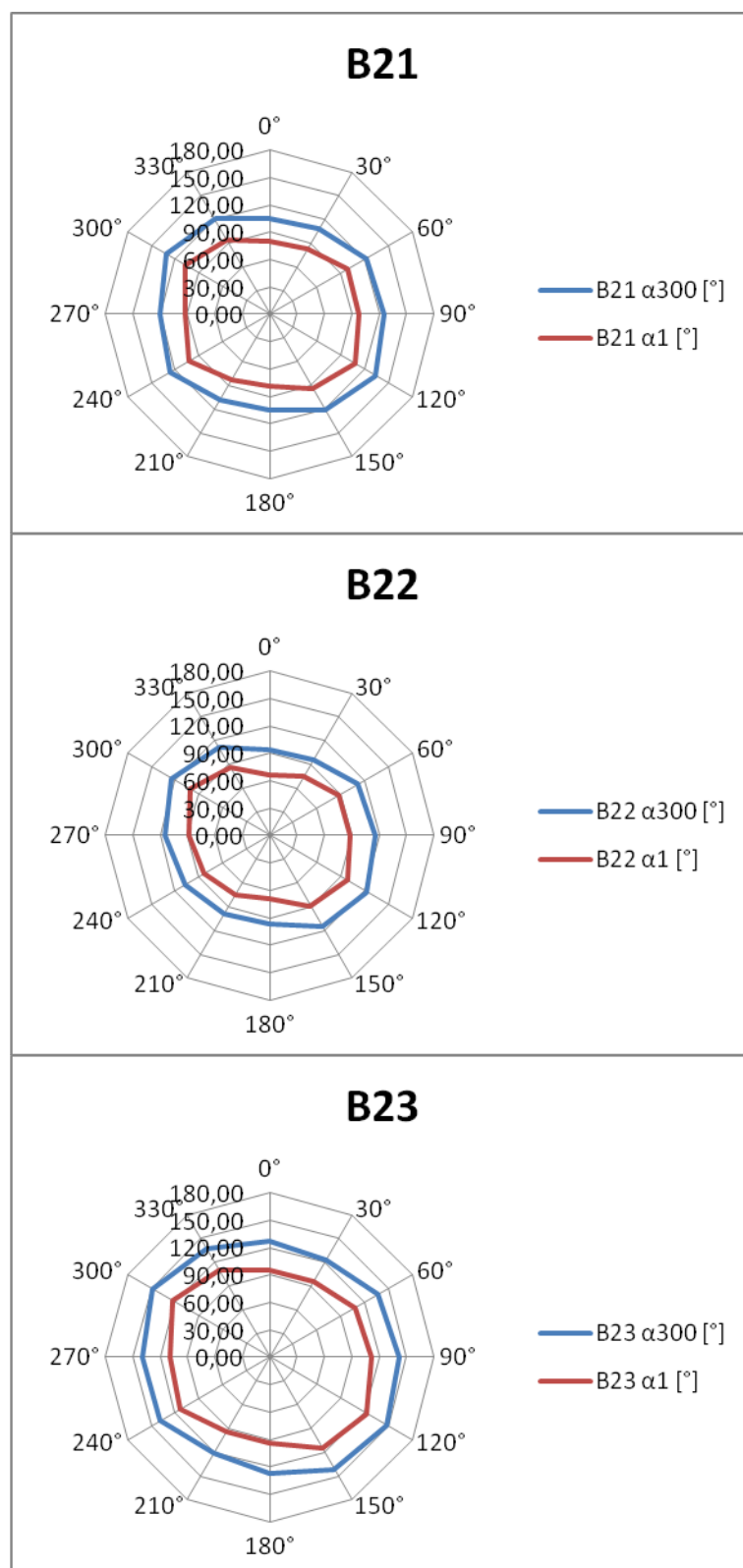


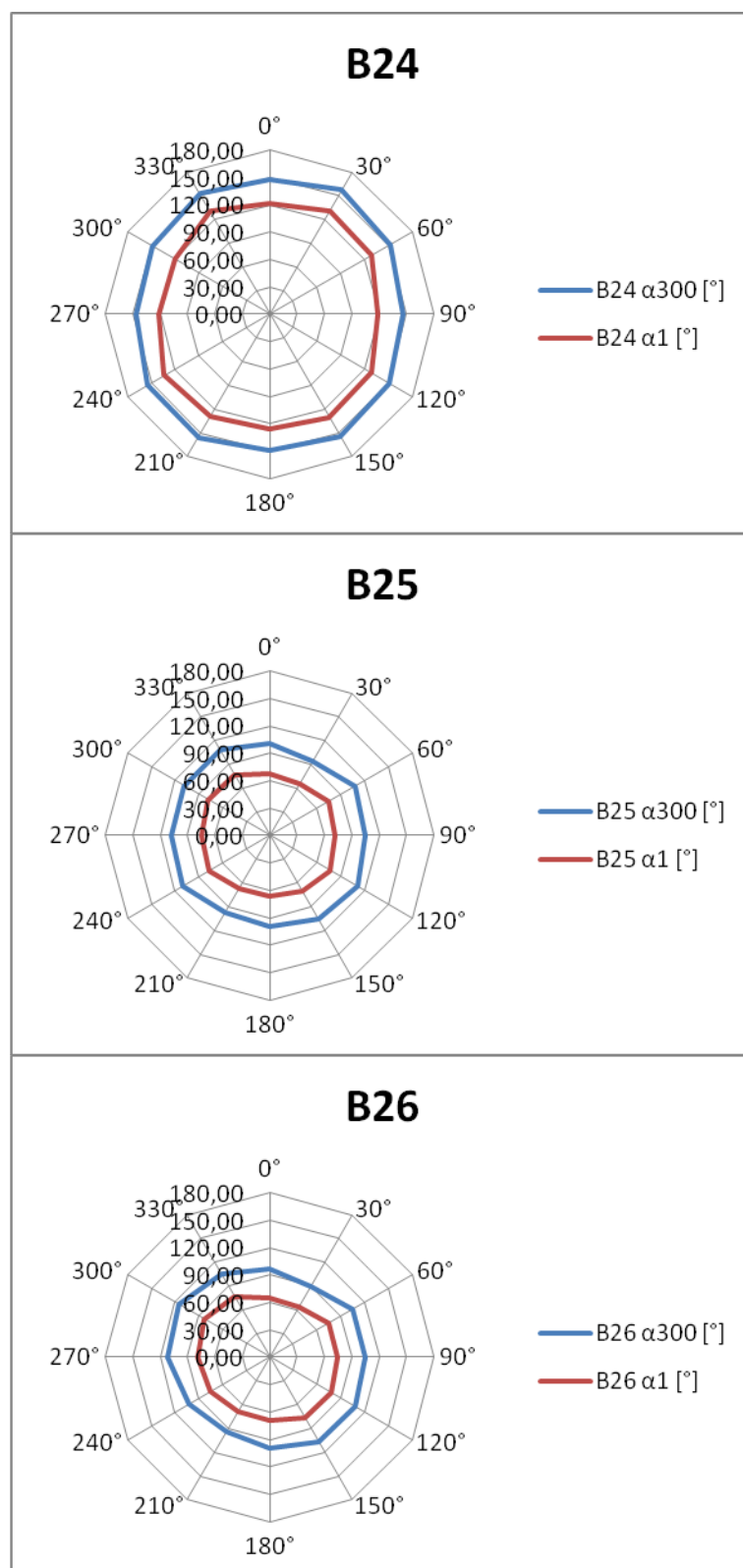


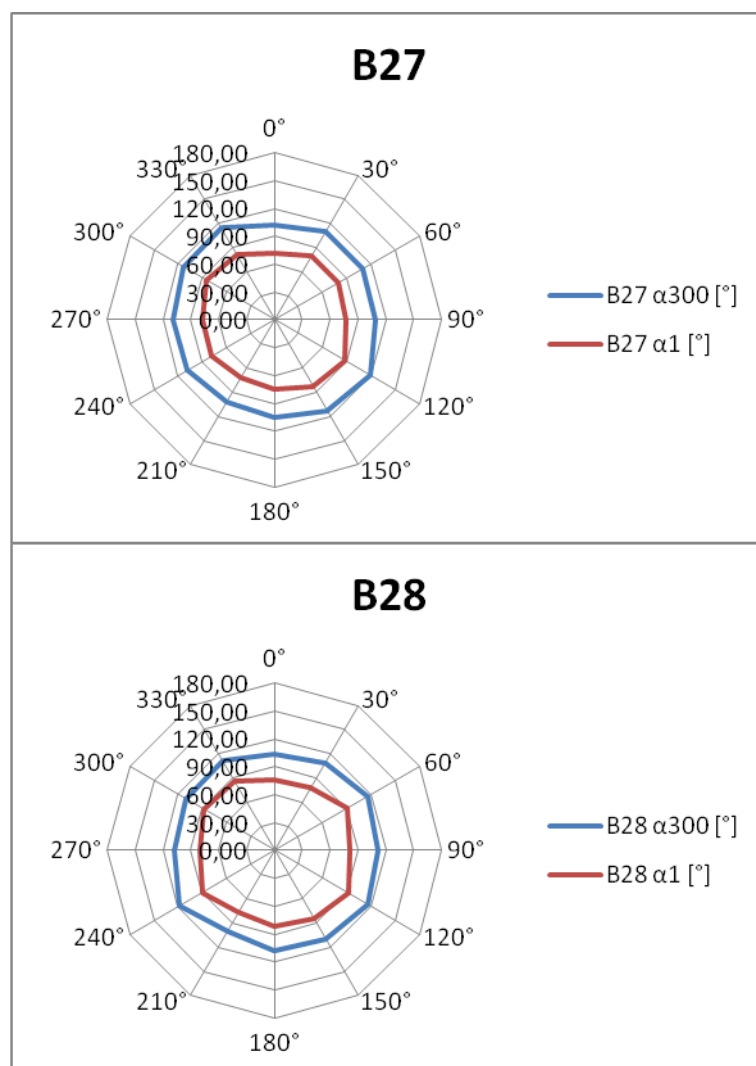














**Příloha č.4: Korelace**

